



**Universidade de
Aveiro
2012**

Departamento de Engenharia Civil

**Pedro Miguel
Gonçalves Rodrigues**

**ANÁLISE DINÂMICA DO COMPORTAMENTO
TÉRMICO DE EDIFÍCIOS**



**Pedro Miguel
Gonçalves Rodrigues**

**ANÁLISE DINÂMICA DO COMPORTAMENTO
TÉRMICO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e da Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente	Prof. Doutora Margarida João de Pinho Lopes, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
Arguente Principal	Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
Orientador	Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
Coorientador	Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja, pelo seu carácter académico, um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem nem devem deixar de ser mencionados. Por essa razão, desejo expressar os meus agradecimentos:

Ao Professor Doutor Romeu da Silva Vicente e à Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, pela colaboração na escolha e orientação da presente dissertação. Agradeço o apoio constante, a partilha do saber, a disponibilidade apresentada, a motivação, fatores que proporcionaram e determinaram de forma decisiva a execução deste trabalho, sem os quais, a sua realização não seria possível.

Aos meus pais, irmã, sobrinhos e avós, pela garantia da sua presença e máximo esforço que sempre revelaram para que todas as metas a que me fui propondo fossem sendo atingidas sob o seu apoio constante.

À minha Mãe, pela infindável coragem e racionalidade que sempre demonstrou e transmitiu exemplarmente e que me levou a seguir alguns dos seus passos.

Ao meu Pai, por todo o apoio incisivo e extrema disponibilidade, aliados ao conhecimento da área, que sempre me facultou.

À minha Irmã e sobrinhos, Leonor e Henrique, pelo sorriso que me colocam na cara com a sua presença, que tão fundamental se revelou para o conforto emocional de que tantas vezes careci.

À minha Avó, pela confiança que sempre me consignou relativamente à conclusão deste Mestrado.

À memória do meu Avô, pelo exemplo, pela saudade e pela vontade de, diariamente o honrar.

À Mara, pelo apoio diário e paciência que tem demonstrado, pela compreensão e renúncia de dedicação a que se tem submetido.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, o meu Muito Obrigado!

RESUMO

A crise energética mundial representa um dos temas de maior discussão da atualidade pois engloba questões políticas, técnicas, económicas e sociais.

Em paralelo com o aumento da procura de energia, cresce a preocupação das sociedades quanto ao impacto que essa procura tem e terá no meio ambiente e consequentemente na vida e saúde de cada um.

A grande responsabilidade que se incute aos edifícios relativamente ao seu consumo energético obriga a uma procura constante de disposições construtivas mais favoráveis.

Uma vez que o conforto no geral está associado ao conforto térmico, é importante que esta análise seja feita rigorosamente de modo a prever e estudar a melhor solução para o caso em estudo.

A presente dissertação insere-se no âmbito da preocupação existente por parte do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro com a eficiência energética dos edifícios e tem como objetivo identificar medidas de melhoria do comportamento térmico de um edifício antigo situado no centro da cidade de Aveiro.

É avaliado o comportamento térmico do edifício para as condições atuais e, posteriormente, são consideradas algumas medidas de melhoria ao nível da reabilitação térmica para o que se utiliza uma ferramenta informática de análise dinâmica do comportamento térmico e são analisadas as necessidades energéticas do edifício antes e após a reabilitação térmica proposta.

Após a realização das diversas simulações e da respetiva análise de resultados conclui-se que as medidas de melhoria do comportamento térmico implementadas aumentam o conforto térmico do edifício em estudo e minimizam, de forma significativa, os seus consumos energéticos.

ABSTRACT

The world energy crisis is nowadays one of the most discussed themes as it refers to political, technical, economical and social issues.

Along with the increasingly search of new forms of energy also increases the society concern with the consequences that search has or will have over the environment, life and public health.

The fact that buildings are considered responsible for a great amount of energy waste leads to a constant search of more favorable construction rules.

Since it is considered that *being comfortable* is directly related to *being warm*, it is important for the present analysis to be detailed studying and previewing the best solution.

The Civil Engineering Department of the University of Aveiro is very concerned with the building energy efficiency and aims to identify the best ways to improve the thermal performance of an old building in the centre of Aveiro.

Therefore, the thermal energy performance of the building, along with the present conditions, is evaluated and after, were considered some measures to improve its thermal rehabilitation.

It was used a computer tool which make a dynamic analysis of the thermal performance and compare the energy needs of the building before and after the proposed thermal rehabilitation.

After performing several simulations and analysis of relevant technical results it was concluded that the measures proposed to improve the building thermal performance increase the building thermal comfort and significantly minimize its energy consumption.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE GERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ACRÓNIMOS.....	XIV
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Enquadramento do tema.....	16
1.2. Objetivos da dissertação.....	17
1.3. Planeamento do Trabalho	17
CAPÍTULO 2 – COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS	19
2.1. Transferência de calor em edifícios.....	19
2.2. Análise dinâmica do comportamento térmico.....	19
2.3. Vantagens do uso do Design Builder e do Energy Plus enquanto ferramentas de análise dinâmica	19
2. COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS	20
2.1. Transferência de calor em Edifícios	20
2.1.1. Condução	20
2.1.2. Convecção	21
2.1.3. Radiação	22
2.2. Análise Dinâmica do Comportamento Térmico	23
2.2.1. Introdução	23
2.2.2. Descrição da análise com o Termo Higrógrafo	24
2.2.3. Descrição da análise com o <i>Energy Plus</i>	24
2.2.4. Descrição da análise com o <i>Design Builder</i>	27
2.3. As Vantagens do uso do <i>Design Builder</i> e do <i>Energy Plus</i> enquanto ferramentas de Análise Dinâmica	28
2.3.1. Ventilação.....	29
2.3.2. Ganhos Internos	29
2.3.3. Ganhos Solares e estudo do sombreamento.....	30
2.3.4. Trocas de Calor pelas Envolventes	30
CAPÍTULO 3 – O CASO DE ESTUDO	32
3.1. Considerações gerais	32

3.2. O edifício em estudo	32
3.3. Metodologia para resolução do caso de estudo	32
3. O CASO DE ESTUDO	33
3.1. Considerações Gerais.....	33
3.1.1. A Reabilitação como Necessidade	33
3.1.2. A Importância do RCCTE	34
3.2. O Edifício em Estudo	35
3.2.1. Introdução Histórica.....	35
3.2.2. Descrição do edifício em estudo.....	36
3.3. Metodologia para Resolução do Caso de Estudo.....	37
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO NAS CONDIÇÕES ATUAIS	66
4.1. Comparação entre os dados registados com o termo higrógrafo e os dados climáticos da Cidade de Aveiro	66
4.2. Confronto entre os resultados da simulação com o Design Builder e os dados registados com o termo higrógrafo.....	66
4.3. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder para as condições atuais do edifício	66
4.4. Apresentação das necessidades energéticas do edifício antes da reabilitação térmica.....	66
4.5. Índice de conforto de <i>Fanger</i>	66
4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO NAS CONDIÇÕES ATUAIS.....	67
4.1. Comparação entre os dados registados com o Termo Higrógrafo e os dados climáticos da Cidade de Aveiro.....	67
4.1.1. Intervalo entre 07 de Abril e 20 de Maio	68
4.1.2. Dia mais frio (12 de Maio).....	69
4.1.3. Dia mais quente (20 de Maio).....	71
4.2. Confronto entre os resultados da simulação com o Design Builder e os dados registados com o Termo Higrógrafo.....	72
4.2.1. Intervalo entre 07 de Abril e 20 de Maio	73
4.2.2. Dia mais frio (12 de Maio).....	74
4.2.3. Dia mais quente (20 de Maio).....	76
4.3. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder para as condições atuais do edifício.....	78
4.3.1. Ano inteiro (01 de Janeiro a 31 de Dezembro)	78
4.3.2. Dia mais frio (20 de Janeiro).....	79

4.3.3. Dia mais quente (11 de Agosto)	81
4.4. Apresentação das necessidades energéticas do edifício antes da reabilitação térmica	82
4.5. Índice de Conforto Térmico de <i>Fanger</i>	83
CAPÍTULO 5 – REABILITAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS.....	87
5.1. Reabilitação térmica de paredes exteriores	87
5.2. Melhoria das condições térmicas de pavimentos	87
5.3. Reabilitação térmica de coberturas.....	87
5.4. Hipóteses de reabilitação térmica do edifício em estudo.....	87
5. REABILITAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS.....	88
5.1. Reabilitação Térmica de Paredes Exteriores	88
5.1.1. Reforço com isolamento pelo interior.....	88
5.1.1.1. Painéis Isolantes Pré-fabricados	89
5.1.1.2. Contra fachada pelo lado interior.....	89
5.1.2. Reabilitação com isolamento térmico pelo exterior	89
5.2. Melhoria das Condições Térmicas de Pavimentos.....	90
5.3. Reabilitação Térmica de Coberturas	90
5.4. Hipóteses de Reabilitação Térmica do Edifício em estudo.....	91
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO APÓS REABILITAÇÃO TÉRMICA	93
6.1. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder.....	93
6.2. Apresentação das necessidades energéticas do edifício após reabilitação térmica	93
6.3. Índice de conforto térmico de <i>Fanger</i>	93
6. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO APÓS REABILITAÇÃO TÉRMICA	94
6.1. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder.....	94
6.1.1. Ano inteiro (01 de Janeiro a 31 de Dezembro)	94
6.1.2. Dia mais frio (20 de Janeiro).....	96
6.1.3. Dia mais quente (11 de Agosto)	97
6.2. Apresentação das necessidades energéticas do edifício após reabilitação térmica	99
6.3. Índice de Conforto Térmico de <i>Fanger</i>	99
CAPÍTULO 7 - CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO ANTES E APÓS A REABILITAÇÃO TÉRMICA	103
7.1. Temperatura interior	103
7.2. Humidade relativa interior	103

7.3. Necessidades energéticas	103
7.4. Índice de conforto de Fanger	103
7. CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO ANTES E APÓS A REABILITAÇÃO TÉRMICA	104
7.1. Temperatura Interior	104
7.2. Humidade Relativa Interior.....	104
7.3. Necessidades Energéticas.....	105
7.3.1. Estação de Aquecimento (Inverno).....	105
7.3.2. Estação de Arrefecimento (Verão).....	106
7.4. Índice de Conforto de <i>Fanger</i>	107
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES	110
8.1. Conceção do trabalho	110
8.2. Caso de estudo.....	110
8.3. Possíveis melhorias do trabalho realizado	110
8.4. Estudos próximos	110
8. CONCLUSÕES	111
8.1. Conceção do trabalho.....	111
8.2. Caso de Estudo	111
8.3. Possíveis melhorias do trabalho realizado	113
8.4. Estudos futuros.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS.....	117
ANEXO I – Plantas, Alçados e Cortes do Caso de Estudo	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Casa de Chá (vista oeste) [18].....	37
Figura 3.2 - Casa de Chá (alçado direito) [18].....	37
Figura 3.3 - Interface inicial do <i>Design Builder</i>	38
Figura 3.4 - Localização do modelo e Tipo de Análise	39
Figura 3.5 - Área de Trabalho	39
Figura 3.6 - Importação da planta do caso de estudo	40
Figura 3.7 - Tipo de modelo adotado	40
Figura 3.8 - <i>Template</i> adotado.....	41
Figura 3.9 - Volume inicial.....	41
Figura 3.10 - Criação de paredes divisórias.....	42
Figura 3.11 - Aspeto real do modelo recorrendo ao separador " <i>Visualise</i> "	42
Figura 3.12 - Modelo Final (vista exterior Norte)	43
Figura 3.13 - Modelo Final (vista interior do 1º piso)	43
Figura 3.14 - Modelo Final (vista interior do 2º piso)	44
Figura 3.15 - Modelo Final (vista exterior Sul).....	44
Figura 3.16 - Modelo Final (vista exterior Este).....	45
Figura 3.17 - Modelo Final (vista exterior Oeste)	45
Figura 3.18 - Definição da localização	46
Figura 3.19 - Definição do fuso horário	46
Figura 3.20 - Definição de valores para as estações de Inverno e Verão.....	47
Figura 3.21 - Definição de Condições de Isolamento.....	47
Figura 3.22 - Definição do <i>template</i> para a atividade	48
Figura 3.23 - Definição da ocupação	48
Figura 3.24 - Definição do metabolismo.....	49
Figura 3.25 - Definição do período de férias	49
Figura 3.26 - Definição do consumo de água quente	49
Figura 3.27 - Controlo da temperatura ambiente.....	50
Figura 3.28 - Definição de equipamentos.....	50
Figura 3.29 - Criação de um <i>template</i> para o tipo de construção	51
Figura 3.30 - Definição de materiais do <i>template</i> "Casa de Chá"	51
Figura 3.31 - Definição das paredes exteriores.....	52
Figura 3.32 - Propriedades das paredes exteriores	52
Figura 3.33 - Definição das paredes interiores.....	53
Figura 3.34 - Propriedades das paredes interiores	53

Figura 3.35 - Definição do pavimento	54
Figura 3.36 - Definição das portas exteriores.....	54
Figura 3.37 - Definição das portas interiores.....	55
Figura 3.38 - Definição da cobertura inclinada	55
Figura 3.39 - Definição do <i>template</i> para os vãos envidraçados	56
Figura 3.40 - Definição dos envidraçados exteriores	56
Figura 3.41 - Definição dos envidraçados exteriores da Sala de Ensaio	57
Figura 3.42 - Inexistência de envidraçados interiores	57
Figura 3.43 - Inexistência de envidraçados na cobertura	57
Figura 3.44 - Aberturas exteriores.....	58
Figura 3.45 - Inexistência de aberturas para ventilação	58
Figura 3.46 - Definição do <i>template</i> para iluminação	58
Figura 3.47 - Ganho energético originado pela iluminação artificial	59
Figura 3.48 - Definição de sistemas HVAC	59
Figura 3.49 - Consumo de água quente.....	60
Figura 3.50 - Condições CFD	60
Figura 3.51 - Ocupação da sala de ensaios.....	61
Figura 3.52 - " <i>Visualise</i> " (vista Oeste).....	61
Figura 3.53 - " <i>Visualise</i> " (vista Sul)	62
Figura 3.54 - " <i>Visualise</i> " (vista Este)	62
Figura 3.55 - Opções para o período de Aquecimento e Arrefecimento	63
Figura 3.56 - Definição do período de simulação	63
Figura 3.57 - Definição do número de simulações por hora e da distribuição solar	64
Figura 3.58 - Definição de "outputs" gráficos	64
Figura 4.1 - Evolução da Temperatura entre 07 de Abril e 20 de Maio	68
Figura 4.2 - Evolução da Humidade Relativa entre 07 de Abril e 20 de Maio	69
Figura 4.3 - Evolução da Temperatura no dia mais frio (12 de Maio)	70
Figura 4.4 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais frio (12 de Maio)	70
Figura 4.5 - Evolução da Temperatura no dia mais quente (20 de Maio)	71
Figura 4.6 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais quente (20 de Maio).....	72
Figura 4.7 - Evolução da Temperatura entre 07 de Abril e 20 de Maio	73
Figura 4.8 - Evolução da Humidade Relativa entre 07 de Abril e 20 de Maio	74
Figura 4.9 - Evolução da Temperatura no dia mais frio (12 de Maio)	75
Figura 4.10 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais frio (12 de Maio)	76
Figura 4.11 - Evolução da Temperatura no dia mais quente (20 de Maio)	77
Figura 4.12 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais quente (20 de Maio).....	77
Figura 4.13 - Evolução anual da temperatura exterior e interior	78

Figura 4.14 - Evolução anual da Humidade Relativa	79
Figura 4.15 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais frio (20 de Janeiro).....	80
Figura 4.16 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais frio (20 de Janeiro)	80
Figura 4.17 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais quente (11 de Agosto)	81
Figura 4.18 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais quente (11 de Agosto)	82
Figura 4.19 - Necessidades Energéticas antes da reabilitação térmica	83
Figura 4.20 - Índices PMV de <i>Fanger</i> [14].....	84
Figura 4.21 - Evolução do índice de conforto de <i>Fanger</i>	85
Figura 4.22 - Evolução do índice de conforto de <i>Fanger</i> para o dia mais frio (20 de Janeiro).....	85
Figura 4.23 - Evolução do índice de conforto de <i>Fanger</i> para o dia mais quente (11 de Agosto)	86
Figura 5.1 - Corte da parede exterior após reabilitação térmica.....	92
Figura 6.1 - Evolução anual da temperatura interior e exterior.....	95
Figura 6.2 - Evolução anual da Humidade Relativa	95
Figura 6.3 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais frio (20 de Janeiro).....	96
Figura 6.4 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais frio (20 de Janeiro)	97
Figura 6.5 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais quente (11 de Agosto)	98
Figura 6.6 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais quente (11 de Agosto) .	98
Figura 6.7 - Necessidades Energéticas após a reabilitação térmica	99
Figura 6.8 - Evolução do Índice de Conforto de <i>Fanger</i>	100
Figura 6.9 - Evolução do índice de conforto de <i>Fanger</i> para o dia mais frio (20 de Janeiro).....	101
Figura 6.10 - Evolução do índice de conforto de <i>Fanger</i> para o dia mais quente (11 de Agosto)	101
Figura 7.1 - Evolução da Temperatura Interior antes e após a reabilitação térmica ..	104
Figura 7.2 - Evolução da Humidade Relativa antes e após a reabilitação térmica	105
Figura 7.3 - Necessidades Energéticas antes e após a Reabilitação Térmica	106
Figura 7.4 - Necessidades Energéticas antes e após a Reabilitação Térmica	107
Figura 7.5 - Índice de Conforto de <i>Fanger</i> antes e após a Reabilitação Térmica	108
Figura 7.6 - Índice de Conforto de <i>Fanger</i> antes e após a Reabilitação Térmica (dia mais Frio).....	108

Figura 7.7 - Índice de Conforto de Fanger antes e após a Reabilitação Térmica (dia mais Quente)	109
Figura 8.1 - Valores do Índice de Conforto de <i>Fanger</i> antes e após a Reabilitação Térmica.....	112

ACRÓNIMOS

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

EP – Energy Plus

HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*

CFD – *Computational Fluid Dynamics*

INE – Instituto Nacional de Estatística

DB – *Design Builder*

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

- 1.1. Enquadramento do tema
- 1.2. Objetivos da dissertação
- 1.3. Planeamento do trabalho

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

A crise energética mundial representa um dos temas de maior discussão da atualidade pois engloba questões políticas, técnicas, económicas e sociais.

Em paralelo com o aumento da procura de energia, cresce a preocupação das sociedades quanto ao impacto que essa procura tem e terá no meio ambiente e consequentemente na vida e saúde de cada um.

Neste conjunto de preocupações surgem títulos como “alterações climáticas provocadas pelo uso excessivo de energia proveniente de fontes não renováveis”, “aquecimento global como consequência do lançamento de gases, responsáveis pelo efeito de estufa, para a atmosfera”, entre outros.

Uma vez que estes títulos não podem de modo algum ser ignorados, os esforços e preocupações atuais devem focar-se na utilização racional da energia e no recurso a fontes alternativas e renováveis, assim como em sistemas de aproveitamento dessa mesma energia.

Uma das soluções atualmente muito utilizada consiste no aproveitamento da energia solar térmica.

A grande responsabilidade que se incute aos edifícios relativamente ao seu consumo energético obriga a uma procura constante de soluções que o minimizem. Estas soluções passam tanto pela utilização de materiais e equipamentos mais eficientes, como também por disposições construtivas mais favoráveis.

No domínio dos materiais de construção tem sido desenvolvido um trabalho árduo na investigação e aplicação de materiais de isolamento térmico mais eficientes e também na substituição e incorporação de resíduos das construções e demolições efetuadas.

Se no caso do isolamento térmico, o contributo é efetuado tendo em vista a diminuição do consumo energético dos edifícios, já no caso da utilização dos referidos resíduos da construção, este contributo está direcionado para a diminuição da energia despendida, desde a fase de conceção até à fase de demolição do edifício em causa.

Uma vez que o conforto no geral está associado ao conforto térmico, é importante que esta análise seja feita rigorosamente de modo a prever e estudar a melhor solução para o caso em estudo.

No decorrer dos anos, foram-se desenvolvendo ferramentas de análise dinâmica para o estudo térmico dos edifícios, de forma a garantir uma avaliação mais precisa das soluções possíveis.

O presente trabalho pretende estudar medidas de reabilitação possíveis para um edifício, recorrendo a ferramentas de análise dinâmica, de modo a assegurar melhorias no seu conforto térmico, sem recurso a equipamentos de aquecimento ou arrefecimento.

1.2. Objetivos da dissertação

A dissertação propõe-se a responder à preocupação existente por parte do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, relativamente à eficiência energética dos edifícios e respetivas medidas de melhoria. Tem pois como objetivo, estudar, através da análise dinâmica do comportamento térmico, um edifício antigo situado no Parque Infante D. Pedro em Aveiro, conhecido como a Casa de Chá.

Após a verificação da utilidade do *software Design Builder* como ferramenta de análise dinâmica do comportamento térmico dos edifícios, ir-se-ão realizar diversas simulações de modo a obter uma comparação entre o comportamento térmico atual do edifício e o comportamento do mesmo considerando uma intervenção no âmbito da reabilitação térmica.

1.3. Planeamento do Trabalho

Tendo em vista a melhor compreensão dos resultados obtidos aquando da elaboração desta dissertação, apresenta-se numa primeira fase a pesquisa bibliográfica efetuada, relacionada com a temática da térmica dos edifícios. De seguida, todos os resultados obtidos na análise feita ao edifício em estudo são comentados e devidamente justificados.

Assim sendo, a dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos de acordo com a enumeração seguinte:

O primeiro capítulo, como referido anteriormente, corresponde à introdução do trabalho, enquadramento do tema e definição dos objetivos do mesmo. Neste capítulo é apresentado o planeamento de toda a dissertação.

No segundo capítulo são abordados os fenómenos de transferência de calor que ocorrem nas construções e descritos os dois métodos de análise utilizados para a avaliação do comportamento térmico do edifício em causa. Neste capítulo é descrito o procedimento de análise com o Termo Higrógrafo e com as ferramentas informáticas *Energy Plus* e *Design Builder*.

O terceiro capítulo é direcionado para a definição do edifício em estudo, onde é referida a necessidade da reabilitação térmica, assim como a importância da regulamentação existente para a qualidade térmica dos edifícios. Neste capítulo é definida a metodologia adotada para a resolução da análise do caso de estudo.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos na análise do comportamento térmico do edifício em estudo nas condições atuais, pelos dois métodos utilizados.

Neste capítulo é feita o confronto entre os dados obtidos com o Termo Higrógrafo e os resultados obtidos através do programa *Design Builder*, de modo a garantir a sua viabilidade no estudo do comportamento térmico do edifício em causa.

O quinto capítulo apresenta diferentes hipóteses para a reabilitação térmica de edifícios.

O sexto capítulo apresenta os resultados obtidos da análise feita com a ferramenta *Design Builder*, para o edifício nas condições das hipóteses apresentadas no capítulo anterior.

No sétimo capítulo são comparados os resultados obtidos com a ferramenta informática, antes e após a reabilitação térmica.

Por último, no oitavo capítulo, são apresentadas as conclusões do estudo realizado.

CAPÍTULO 2 – COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

2.1. Transferência de calor em edifícios

2.2. Análise dinâmica do comportamento térmico

2.3. Vantagens do uso do Design Builder e do Energy Plus enquanto ferramentas de análise dinâmica

2. COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

2.1. Transferência de calor em Edifícios

As trocas de calor, no caso dos edifícios, ocorrem maioritariamente pela envolvente externa dos mesmos. No entanto, apesar de esta representar a maior parte das trocas de calor existentes, ocorrem também trocas de calor entre os diferentes compartimentos, uma vez que devido à sua utilização, estes se encontram a temperaturas diferentes.

Para este efeito, contribuem mecanismos de transferência de calor tais como a condução, a convecção e a radiação, sendo que as duas primeiras necessitam de um meio material para que ocorram, ao invés da terceira, a radiação, que é independente de qualquer meio [1,2].

Neste subcapítulo são descritos cada um destes processos.

2.1.1. Condução

A condução é o mecanismo de transferência de calor que ocorre nos sólidos. Este fenómeno surge como resultado das colisões entre as moléculas de uma substância e da consequente energia cinética. Para este fim, é necessário que as partículas que constituem o corpo se encontrem bastante próximas umas das outras. Este processo permite que seja transmitida energia das partículas com maior temperatura para as que tenham temperatura inferior.

Para reger os fenómenos de transferência de calor por condução existe a Lei de Fourier (1). Esta equação permite calcular o fluxo de calor transmitido através de condução entre duas superfícies, conhecendo a sua condutibilidade térmica, área e o gradiente de temperatura.

$$Q_{cond} = -\lambda \times A \times \frac{dT}{dx} \Leftrightarrow Q_{cond} = \lambda \times A \times \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1)$$

em que:

Q_{cond} é a quantidade de calor transferido por condução (W)

λ é a condutibilidade térmica do elemento (W/m.°C)

A é a área da superfície onde ocorre a condução (m²)

$\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura

Uma vez que existem materiais com maior capacidade de condução, como é o caso dos metais, e outros com menor capacidade de condução, como é o caso da cortiça, podem utilizar-se alguns deles como isolantes térmicos.

É usual considerar-se o fluxo de calor como unidirecional na análise do processo de transmissão de calor por condução na envolvente dos edifícios, uma vez que a altura dos elementos construtivos é muito superior à sua espessura. No entanto, no caso do edifício possuir pilares e vigas na sua envolvente, os fluxos de calor nas outras direções deverão ser também considerados, uma vez que estes elementos construtivos apresentam uma baixa resistência térmica.

No caso de estudo, adotar-se-á a simplificação acima descrita uma vez que o edifício em estudo apresenta uma envolvente em alvenaria.

2.1.2. Convecção

Ao invés do que acontece no caso da condução, acima descrito, a convecção ocorre fundamentalmente nos líquidos e nos gases. Este mecanismo de transferência de calor revela-se como sendo a principal razão da troca de calor entre superfícies sólidas e gases ou líquidos, ou apenas entre os dois últimos. Quando estas trocas ocorrem entre fluidos, uma vez que os fluidos com temperatura mais elevada são menos densos, estes tendem a subir, ao contrário dos fluidos com temperaturas mais baixas. Este fenómeno ocorre devido às forças de impulsão.

O movimento dos fluidos pode ser natural, caso resulte das forças de impulsão existentes devido às diferenças de densidade, ou forçado, caso seja induzido por forças externas, tais como o vento ou qualquer outro equipamento que faça com que o fluido se mova.

A lei do arrefecimento, equacionada por Newton, permite calcular o fluxo de calor entre uma superfície sólida e um líquido, por convecção. No caso dos edifícios, a superfície

sólida corresponde à envolvente e o fluido ao ar que se encontra em contacto com essa mesma superfície. A lei acima referida é traduzida pela seguinte equação:

$$Q_{conv} = h_c \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

em que:

Q_{conv} representa a quantidade de calor transmitida (W)

h_c é a condutância térmica superficial por convecção (W/m².°C)

A_s é a área superficial de contacto entre o elemento sólido e o fluido (m²)

T_s é a temperatura superficial do sólido (°C)

T_∞ é a temperatura do fluido (°C)

2.1.3. Radiação

O mecanismo de transferência de calor por radiação é atingido pela propagação de ondas eletromagnéticas. Este processo distingue-se dos anteriores pelo facto de não necessitar de qualquer meio material para que a transferência de energia aconteça, uma vez que esta se propaga no vácuo.

Todas as superfícies possuem uma determinada capacidade de emitir radiação, ao que se dá o nome de emissividade. Os valores desta capacidade podem variar entre 0 e 1, dependendo da capacidade do corpo não emitir ou emitir toda a energia, respetivamente. Estes valores são meramente teóricos uma vez que não se verificam na realidade. A um corpo que apresente uma emissividade igual a 1 dá-se o nome de corpo negro (corpo ideal), onde toda a energia incidente é absorvida e posteriormente emitida, não se verificando reflexões. Num corpo com emissividade 0, toda a energia incidente é refletida.

É de realçar que um bom emissor é também um bom absorvedor de energia, uma vez que quanto mais energia um corpo absorver, maior será a radiação emitida.

A Lei de Stefan-Boltzmann (3) e (4) afirma que a energia total emitida por segundo e por unidade de área de uma superfície é proporcional à quarta potência da temperatura

absoluta da superfície. Apesar do exposto, a expressão pode apresentar-se de duas formas, consoante o local de propagação de energia por parte do emissor:

$$q_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times S \times T^4 \quad (3)$$

$$q_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times S \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

em que:

q_{rad} é o calor transmitido por radiação (W)

ε é a emissividade da superfície (m^2)

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

S é a área da superfície emissora

T é a temperatura absoluta (K)

T_1 e T_2 são as temperaturas superficiais (K)

Uma parte da radiação solar incidente nos edifícios é refletida, outra absorvida e a restante é transmitida. Alguma da energia transmitida direciona-se para o interior do edifício através de fenómenos de condução que, posteriormente, dão origem a mecanismos de convecção superficial. Por outro lado, dentro do edifício, poder-se-ão gerar fenómenos de convecção entre fluidos originando os três mecanismos de transferência de calor.

2.2. Análise Dinâmica do Comportamento Térmico

2.2.1. Introdução

Na realização deste trabalho foram utilizadas três ferramentas para o estudo do comportamento térmico do edifício em causa. Uma das ferramentas utilizadas foi o Termo Higrógrafo, que possibilitou o registo das temperaturas e da humidade relativa no interior do edifício durante um determinado período de tempo.

A segunda ferramenta usada foi o programa *Design Builder*. Este *software* permite modelar qualquer edifício, guarnecendo-o de todas as características que esse possui, quer ao nível da sua geometria, quer ao nível dos materiais que o constituem.

Após ser feita a modelação do edifício pretendido, pretende-se simular o comportamento térmico do edifício de uma forma dinâmica. Para tal, utilizou-se o *software Energy Plus*.

2.2.2. Descrição da análise com o Termo Higrógrafo

O Termo Higrógrafo é um equipamento que permite registar a temperatura e a humidade relativa de um determinado espaço num intervalo de tempo. Este equipamento permite configurar a frequência de registo de valores e também a sua transferência para um computador para posterior análise.

O Termo Higrógrafo utilizado no caso de estudo foi o equipamento *HygroLog* da *Robtronic*.

O procedimento de utilização desta ferramenta é bastante simples e consiste na sua colocação no compartimento que se pretende estudar durante o período de tempo definido. Após decorrido esse tempo, transferem-se os dados armazenados na sua memória para efeitos de análise.

2.2.3. Descrição da análise com o *Energy Plus*

O *Energy Plus* consiste numa ferramenta informática que visa auxiliar o estudo e análise de edifícios sob o ponto de vista do comportamento térmico.

Este *software* foi criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, tendo por base programas já existentes (*Blast*, *DOE-2*).

O funcionamento do *Energy Plus* é ordenado por três componentes básicos: um controlador da simulação, um módulo de simulação do balanço de calor e massa e um módulo de simulação dos sistemas da edificação, sendo o controlador da simulação o responsável pela coordenação dos módulos de simulação nas suas ações individuais [3].

Este programa efetua a simulação do balanço térmico e de massa de uma determinada zona de um edifício, pelo que é estritamente necessário definir “zonas” e “ocupação de zonas” previamente no programa *Design Builder*, que se descreve no ponto seguinte.

Uma zona consiste num conjunto de espaços que se encontram sujeitos ao mesmo controlo térmico. Estas zonas podem interagir entre si pelas superfícies adjacentes, sendo esta interação possível através de fluxos de calor.

Por cada zona, podem ser introduzidos os respetivos sistemas de climatização de forma a serem obtidos os consumos referentes às temperaturas interiores.

Previamente, recorrendo à ferramenta *Design Builder*, existe a necessidade de definir todos os aspetos referentes à geometria e aos materiais existentes para que se consiga caracterizar o edifício quanto às suas soluções construtivas.

Para a determinação do fluxo de calor que atravessa um determinado elemento opaco, o *Energy Plus* utiliza a seguinte equação:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (5)$$

em que:

q'' – fluxo de calor

T – temperatura

i – elemento interno da construção

o – elemento externo da construção

X e Y – fatores de resposta térmica dependentes das propriedades dos materiais.

Assim sendo, conclui-se que o fluxo de calor que atravessa um elemento opaco é dependente das temperaturas exteriores e interiores do edifício, assim como da radiação solar incidente e também das propriedades térmicas dos materiais presentes.

No cálculo dessas temperaturas, o *Energy Plus* utiliza a equação dada por:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup ply}^t + \left(C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{int}^i C_p T_{\infty} \right)^{t-\delta t}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left(\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{int} C_p + \dot{m}_{sys} C_p \right)} \quad (6)$$

em que:

Q – fluxo de calor

h – coeficiente de convecção de troca de calor

A – área da parede

T – temperatura

m – fluxo de massa

C – calor específico

Em alternativa à utilização do *Design Builder*, o *Energy Plus* contém um editor de texto, em formato IDF (*Input Data File*), onde o utilizador pode introduzir informações para uma melhor caracterização do edifício em causa.

Uma outra opção relativamente à utilização do *Design Builder* é o programa *EP-Launch*, para quem desejar modelar o edifício no próprio *Energy Plus*. A introdução da geometria neste programa é bastante complexa e suscetível de diversos erros, justificando assim o recurso ao *Design Builder*, de modo a facilitar a introdução dos dados referentes à geometria e aos tipos de materiais presentes no edifício a estudar.

No final da simulação, o programa *Energy Plus* fornece ao utilizador um ficheiro descritivo dos erros encontrados na simulação. Um erro do tipo “*Warning*”, como o nome indica “Aviso”, não compromete a simulação, estando geralmente associado a erros de pouca relevância. Merecedor de maior atenção deverá ser um erro do tipo “*Severe*” uma vez que consiste num erro que pode com facilidade comprometer os resultados obtidos. Este tipo de erros exige uma intervenção e reparação imediata. No caso de um erro do tipo “*Fatal*”, a simulação é impedida uma vez que este resulta da associação de erros do tipo “*Severe*” com erros do tipo “*Warning*”.

No final da correção de possíveis erros existentes, existe a possibilidade de visualizar os resultados sob a forma de gráficos que permitem uma melhor análise do comportamento térmico durante o período definido, sendo que o *Energy Plus* permite fazer análises de períodos de tempo inferiores a uma hora.

Resumindo o procedimento efetuado com a ferramenta *Energy Plus* [3] e encarando-a como uma máquina de *Input/Output* direta tem-se:

Input (dados):

- Localização;
- Geometria e materiais constituintes do edifício;
- Zonas;

- Dados climatéricos (ficheiro climático da zona em que o edifício se insere);
- Equipamentos, pessoas e iluminação;
- Tipos de ocupação;
- Taxas de ocupação;
- Tipos de cálculos a efetuar pelo programa.

Output (resultados):

- Temperatura exterior;
- Temperatura interior de cada zona;
- Necessidades de energia para aquecimento;
- Necessidades de energia para arrefecimento;
- Trocas de calor nos elementos da envolvente.

2.2.4. Descrição da análise com o *Design Builder*

O *software Design Builder* permite modelar qualquer tipo de edifício ao nível da sua geometria e definição de materiais.

Com esta ferramenta de análise dinâmica, é possível simular o comportamento térmico de um determinado edifício tendo em conta fatores como a variação da inclinação da luz solar, assim como a variação das temperaturas exteriores consoante a zona em questão.

Recorrendo ao *software Energy Plus*, descrito anteriormente, é possível executar-se uma simulação bastante precisa e real, bastando para isso, que através do *Design Builder* se defina a geometria do edifício, os materiais que o constituem, as zonas em que se pretende avaliar o comportamento térmico e a respetiva utilização. Para tal, é necessário também definir um período de simulação no qual se pretende estudar o edifício.

Este apresenta-se como sendo o primeiro interface gráfico do programa de simulação térmica dinâmica *Energy Plus*.

O *Design Builder* permite construir o modelo de um determinado edifício, caracterizá-lo, bem como aos seus sistemas energéticos e testar, através de simulações, as soluções de otimização adotadas.

Este programa consiste numa plataforma de modelação tridimensional onde é definida a hierarquia integrante do modelo, permitindo desta forma alterar e definir as

características do edifício em geral, mas também definir parâmetros de estruturas mais detalhadas tais como paredes, tetos, aberturas interiores e exteriores.

Do conjunto de dados de *output* que o programa fornece é possível escolher aqueles que interessam para o estudo em causa e exportá-los individualmente, sem recurso a outras ferramentas informáticas.

2.3. As Vantagens do uso do *Design Builder* e do *Energy Plus* enquanto ferramentas de Análise Dinâmica

O estudo do comportamento térmico de um determinado edifício pode ser feito com base em análises estáticas segundo o método descrito no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE [4], ou com base em análises dinâmicas com recurso à ferramenta *Energy Plus* [3], ou com base em ambas simultaneamente.

Esta subsecção pretende identificar as principais vantagens da utilização de ferramentas de análise dinâmica destacando, para isso, algumas das principais diferenças entre os dois tipos de análises referidas.

A entrada em vigor do RCCTE [4] obrigou os responsáveis pelos projetos de edifícios a cumprirem exigências concretas quanto ao conforto térmico, sendo esse processo fundamentado numa análise estática. Uma vez que este regulamento é elaborado de modo a poder satisfazer a generalidade dos edifícios, parte de pressupostos que podem, de facto, não corresponder à situação particular de um determinado edifício. Embora pouco rigorosa, a análise feita a partir do regulamento fornece resultados razoáveis relativamente às necessidades energéticas.

De muito maior complexidade são as análises dinâmicas, pois permitem elaborar simulações com base num número elevado de variáveis obtendo-se, assim, resultados bem mais próximos da realidade.

De seguida apresentam-se várias vantagens do *software Energy Plus* em relação à metodologia de cálculo estabelecida pelo RCCTE [4].

2.3.1. Ventilação

Sendo que a ventilação representa uma variável de grande relevância no balanço energético dos edifícios, pode contribuir para a diminuição das necessidades de arrefecimento no interior dos edifícios durante o período de Verão.

É utilizada frequentemente recorrendo à abertura das janelas em contacto com o exterior, melhorando, não só o conforto térmico no interior durante o Verão, como também a qualidade do ar dentro do edifício em causa.

No entanto, durante o período de Inverno, a ventilação é também responsável pela dissipação de calor, daí ser imposto pelo regulamento um valor mínimo da taxa de renovação horária, como medida para garantir a salubridade e o conforto com um mínimo de gasto de energia.

Com esta imposição por parte do RCCTE [4], é inviável incluir na análise do edifício as situações em que a diminuição ou aumento da ventilação se traduzem como benéficas.

O *Energy Plus* facilita esta tarefa, na medida em que permite efetuar o estudo do edifício com maior detalhe, visto assumir esta taxa de infiltração do ar como variável, podendo ser definida pelo projetista.

2.3.2. Ganhos Internos

Derivados de fatores como a ocupação humana das zonas, a iluminação e o calor libertado pelos equipamentos presentes, surgem ganhos internos.

Estes fatores variam de zona para zona pelo que é pouco conveniente adotar uma análise de pormenor da situação real, recorrendo ao estabelecido pelo RCCTE [4]. Esta análise refere um valor médio em Watt por metro quadrado, baseado naquilo que é espetável consoante a funcionalidade do edifício em questão.

No caso de se utilizar uma análise dinâmica, é permitido ao utilizador definir todo este tipo de variáveis, podendo desta forma estimar com maior exatidão os ganhos internos associados. Para isto é necessário conhecer a energia consumida em iluminação, em equipamentos e nas atividades exercidas pelas pessoas no seu interior. Estes dados podem ser definidos aprofundadamente no programa *Design Builder* e depois analisados com a ferramenta *Energy Plus*.

É de realçar que estes ganhos internos representam um fator benéfico durante a estação de Inverno e prejudicial na estação do Verão, uma vez que contribuem para o aumento da temperatura no interior da zona em questão.

2.3.3. **Ganhos Solares e estudo do sombreamento**

Toda a energia solar incidente no edifício deve também ser contabilizada na análise do seu comportamento térmico. Assim sendo, durante o Inverno, esta energia é vantajosa para o aquecimento do interior e durante o Verão é prejudicial, pelos mesmos motivos referidos no item anterior, referente aos ganhos internos.

A principal diferença da utilização do método descrito no RCCTE [4] e do *software Energy Plus*, reside na possibilidade que o último fornece de analisar o comportamento térmico do edifício, com a variação da intensidade e incidência da radiação solar, ao contrário da primeira, que assume valores genéricos para esta mesma radiação.

Esta diferença ganha proporções maiores quando se tem por objetivo, uma análise da eficácia de dispositivos de sombreamento móveis a utilizar em situações pontuais.

2.3.4. **Trocas de Calor pelas Envolventes**

Sempre que exista uma diferença de temperatura entre a parte exterior e interior de uma determinada envolvente exterior, surgem trocas de calor entre os dois ambientes que separa.

Sendo que a envolvente interior define a fronteira entre um espaço útil interior e outros espaços interiores sem climatização, como garagens ou armazéns, o RCCTE [4] considera a existência de trocas através destas envolventes, apenas no período do Inverno, assumindo-as nulas nos restantes períodos.

Durante a estação de Inverno, estas trocas são consideradas como frações dos valores equivalentes registados na envolvente exterior, sendo atribuído a cada local não aquecido, um parâmetro calculado em função de uma relação geométrica baseada no cálculo de áreas.

Uma vez que este tipo de análise não permite considerar a qualidade térmica dos elementos da envolvente do local não aquecido, é fácil compreender as vantagens da

utilização do *Energy Plus* já que, mais uma vez, este encara estes valores como variáveis que podem ser definidas e alteradas pelo utilizador. Podem assim ser atingidas definições das condições mais próximas do real.

CAPÍTULO 3 – O CASO DE ESTUDO

3.1. Considerações gerais

3.2. O edifício em estudo

3.3. Metodologia para resolução do caso de estudo

3. O CASO DE ESTUDO

3.1. Considerações Gerais

3.1.1. A Reabilitação como Necessidade

Tendo a presente dissertação como objetivo abordar a reabilitação de um edifício, é de total importância definir o seu significado.

Reabilitar um edifício significa aumentar os seus padrões de qualidade sem comprometer a sua caracterização inicial.

A relevância da reabilitação é evidente na medida em que apenas desta forma se consegue garantir a melhoria da qualidade e o retardamento da degradação contínua do património.

Reabilitar não é, no entanto, sinónimo de conservar e restaurar. A conservação refere-se maioritariamente a edifícios históricos. Trata-se, assim sendo, de preservar, sem refazer nem alterar o que já existe, de modo a prolongar o seu tempo de vida útil, mantendo a sua traça original. O conceito de restauração prende-se, resumidamente, na execução de algo que já não existe, pelo que é muito rara a sua utilização no património edificado.

O BCSD Portugal (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável) é uma instituição que tem como objetivo promover a eco-eficiência nas empresas, assim como a inovação e a responsabilidade social [1].

Em consonância com o BCSD Portugal, a percentagem de reabilitação em Portugal representa menos de 10% do sector da engenharia civil, ao contrário dos restantes países da Europa, onde esta parcela ronda os 40% do sector [20].

Apesar dos dados anteriormente referidos serem estatísticos, indicam a existência de um desnível acentuado na aplicação da reabilitação em Portugal comparativamente com os restantes países da Europa, sendo necessário inverter esta tendência.

Quando se pretende executar a reabilitação térmica de um edifício, tem que se conhecer diversos fatores inerentes ao mesmo, tais como a sua idade e as suas soluções construtivas, de forma a tomar conhecimento do desempenho térmico do mesmo e de

qual o tipo de intervenção que se poderá realizar, tendo em vista a melhoria do seu comportamento térmico.

De acordo com o INE, cerca de 80% do edificado de Portugal foi construído anteriormente em relação ao primeiro regulamento térmico [11]. Este dado permite prever a existência de um imenso património que não cumpre os requisitos para a qualidade térmica.

A necessidade da reabilitação térmica verifica-se quando se pretende melhorar as condições interiores de conforto e reduzir os consumos energéticos.

Para tal, é necessária uma avaliação e uma análise rigorosa do edifício em causa, de forma a conhecer as suas características térmicas e verificar se estas são, ou não, as mais indicadas.

3.1.2. A Importância do RCCTE

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [4]) surgiu em 1990 mediante imposição de exigências da construção como medidas de melhoria da qualidade térmica dos edifícios existentes em Portugal.

Tratando-se da primeira versão do Regulamento, esta foi considerada por muitos como “pouco exigente”, apesar de alguns resultados positivos que permitiu atingir.

Face às exigências europeias relativas à eficiência energética dos edifícios, foi publicado em 2006 o novo RCCTE [4].

Verificou-se imediatamente um aumento da qualidade térmica dos edifícios a partir do momento em que se implementaram as exigências deste novo regulamento.

Passou a haver uma preocupação maior com o isolamento térmico da envolvente interior e exterior dos edifícios e com a diminuição do consumo dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento.

O RCCTE [4] em vigor obrigou muitos dos edifícios existentes a procedimentos de requalificação e reabilitação.

Assim sendo, hoje em dia, a regulamentação térmica assume uma postura reguladora e responsabilizadora nas áreas da construção e da reabilitação de edifícios, para a garantia das condições de conforto térmico no interior dos mesmos.

3.2. O Edifício em Estudo

3.2.1. Introdução Histórica

Situado na cidade de Aveiro, o Parque Infante D. Pedro, com origem no século XVII, representa um lugar de lazer e contacto com a natureza, contrastando com a envolvente citadina que o rodeia.

Este parque, conhecido como “parque municipal” ou “parque da cidade”, herdou o seu nome em homenagem ao Senhor de Aveiro, o infante D. Pedro [5].

Graças ao empenho de Manuel Firmino da Maia, procedeu-se a uma organização do parque a partir de 1862, partindo da área que pertencia ao convento franciscano de Santo António.

A partir desta área foi feito um aproveitamento da ribeira que atravessava o parque de modo a criar um cenário de lagos e fontes rodeados de área verde.

Se houve épocas em que o parque se apresentava desguarnecido de manutenção, também outras existiram em que se deu particular atenção a este espaço verde, evidenciando-se a avenida das tílias e o jardim.

Na década de 1900, este parque apresentava-se como um espaço animado da sociedade aveirense, quando a classe alta passeava pelo jardim, com festas populares, bailes e espetáculos musicais, como testemunha o ainda existente coreto em ferro. Aqui se recordam algumas figuras da vida aveirense, com destaque para Magalhães Lima [19].

Por meados da década de 80, tornou-se necessário alargar este “pulmão” da cidade, aproveitando a funda ribeira da Baixa de Santo António que trouxe a possibilidade de prolongar o parque, ainda que cortado por uma via arterial de intenso movimento ainda existente. Neste novo espaço implantaram-se então, campos de jogos e espaços verdes onde se pode desfrutar do contacto direto com a natureza, mesmo no centro da cidade.

No parque salienta-se a existência de um edifício de elevado valor cultural e, mais uma vez, frequentado pela alta sociedade aquando da formação deste parque, o qual se intitularia como “Casa de Chá”, tratando-se de um ponto de encontro onde essa classe tomava o seu lanche, na envolvente confortável que o ambiente verde lhes proporcionava.

Hoje em dia, a Casa de Chá é propriedade do município e é ocupado pela Orquestra Filarmónica das Beiras, sendo anfitriã dos seus ensaios e secretarias inerentes à sede desta associação.

Este edifício apresenta-se como o caso de estudo da presente dissertação, definindo-se de seguida as suas características.

3.2.2. Descrição do edifício em estudo

O edifício em estudo, como referido anteriormente, é a Casa de Chá, situada no Parque Infante D. Pedro, em Aveiro (Figura 3.1 e 3.2). Este edifício é constituído por dois pisos.

Relativamente à sua utilização é importante referir que este contém um compartimento onde ocorrem os ensaios da Orquestra Filarmónica das Beiras e várias salas mais pequenas utilizadas como escritórios e gabinetes pessoais.

Este edifício já foi sujeito a algumas alterações ao nível estrutural. Destas destaca-se a substituição de barrotes de madeira por lajes de betão armado vigadas.

Uma vez que a dissertação se prende por estudar o comportamento térmico deste edifício, importa salientar todas as alterações que tenham sido feitas ao nível da melhoria ou detrimento do conforto térmico do mesmo. Assim sendo, realçam-se as alterações feitas ao nível da aplicação de caixilharia de alumínio e colocação de envidraçado numa zona que até esse momento seria aberta ao exterior, criando assim mais um espaço fechado e com grande influência no comportamento térmico deste edifício.

A envolvente externa do edifício é constituída por paredes de adobe com 40cm de espessura, com um reboco de 15mm de argamassa.

A cobertura é em telha cerâmica, os pavimentos em madeira e o pavimento térreo tem revestimento cerâmico.

Para uma melhor visualização e perceção da arquitetura do edifício, são apresentados no Anexo I os desenhos arquitetónicos referentes aos alçados, plantas e cortes do edifício em estudo.



Figura 3.1 - Casa de Chá (vista oeste) [18]



Figura 3.2 - Casa de Chá (alçado direito) [18]

3.3. Metodologia para Resolução do Caso de Estudo

No presente capítulo serão descritos os procedimentos adotados para a elaboração deste trabalho. Assim sendo, todos os campos do *software Design Builder* serão apresentados, assim como todas as definições e soluções adotadas para o estudo do comportamento térmico do edifício em causa.

Os campos apresentados facultam a possibilidade da inserção dos dados essenciais para a execução de uma simulação rigorosa e precisa, o que, por conseguinte, originará resultados mais realistas. No entanto, há que referir a existência de outros grupos no

software Design Builder que não ocuparão lugar na presente dissertação, uma vez que não representam dados relevantes para o resultado pretendido.

Como foi referido anteriormente, o *Design Builder* é uma ferramenta informática que permite definir pormenorizadamente cada parâmetro. Assim sendo, atingiu-se um nível de definição considerável para o caso em estudo, apesar de existirem outros parâmetros com possibilidade de especificação.

O processo de análise com a ferramenta *Design Builder* iniciou-se com a criação de um modelo do edifício que se pretende estudar.

Assim sendo, após correta instalação do programa e legalização das respetivas licenças, deu-se início à modelação do caso de estudo.

Executando o programa é imediatamente apresentado o interface inicial para abertura de um ficheiro já existente ou de um novo ficheiro, como consta na Figura 3.3.

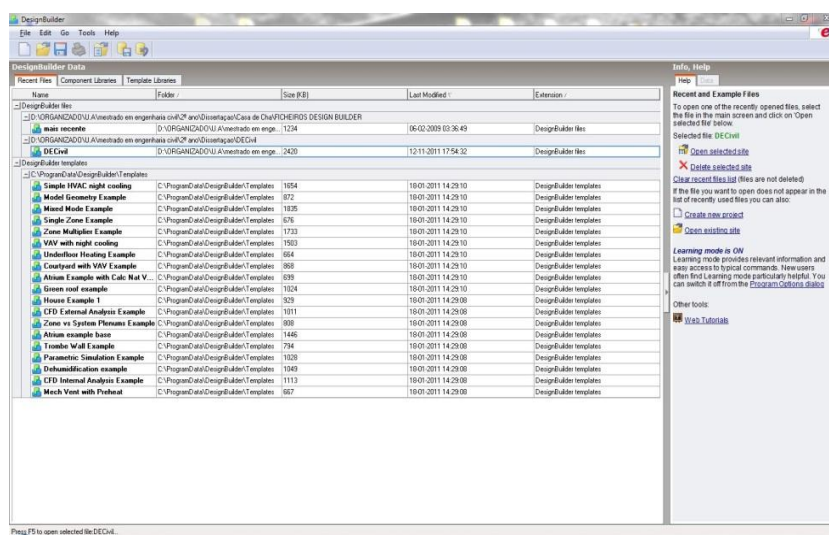


Figura 3.3 - Interface inicial do *Design Builder*

Selecionando “*create new project*” é imediatamente remetido para um quadro onde se seleciona a localização do modelo que se pretende criar.

No caso de estudo da presente dissertação, adotou-se a localização da cidade do Porto, uma vez que não é disponibilizada pelo *software* a opção da cidade de Aveiro. Assim sendo, das opções disponibilizadas pelo programa escolheu-se a cidade que apresenta uma variação térmica mais semelhante com a da localização real do edifício em causa.

De modo a minimizar esta diferença, o ficheiro que contém a base de dados no qual o programa *Design Builder* se apoia, foi editado. Nesta edição foram alterados os valores correspondentes à temperatura exterior, à humidade relativa e à radiação solar. Os dados

inseridos foram registados pela estação meteorológica do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, tendo sido facultados para a realização deste trabalho. Desta forma, é possível simular o comportamento térmico do edifício tendo como base dados reais.

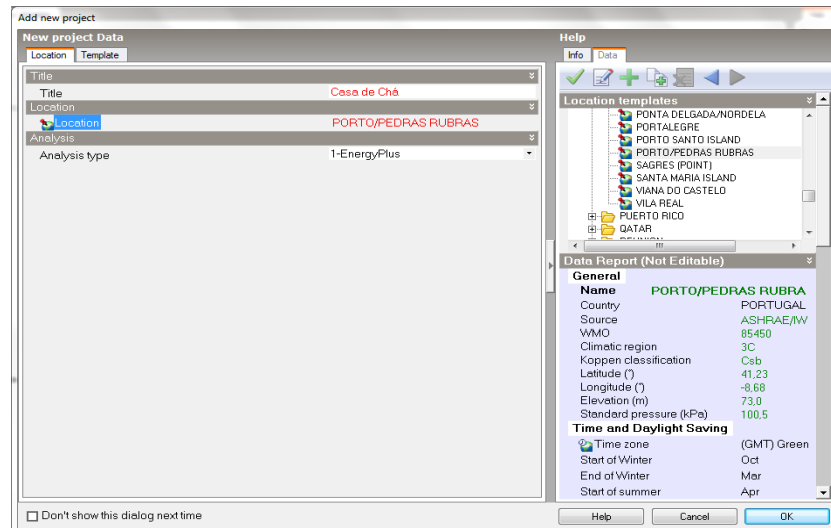


Figura 3.4 - Localização do modelo e Tipo de Análise

Neste quadro é também definido o nome do projeto que acabou de ser criado e a fundamentação da análise que se pretende. Neste caso foi selecionada a opção “*Energy Plus*” uma vez que, como é indicado anteriormente, é o tipo de avaliação que se pretende.

Aceitando as condições apresentadas até ao momento, avança-se para a área de trabalho propriamente dita, onde vai ser criada a geometria do modelo (Figura 3.5).

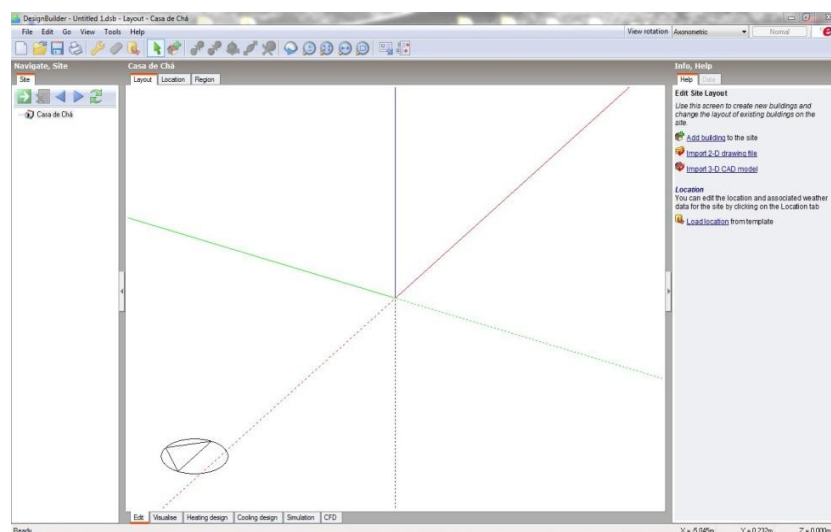


Figura 3.5 - Área de Trabalho

Depois de trabalhada a planta do edifício apresentada no Anexo I, de modo a ficarem visíveis apenas as paredes exteriores e interiores, obtém-se a base de trabalho a partir da qual, seleccionando os pontos desejados, se constrói o volume inicial do modelo (Figura 3.6).

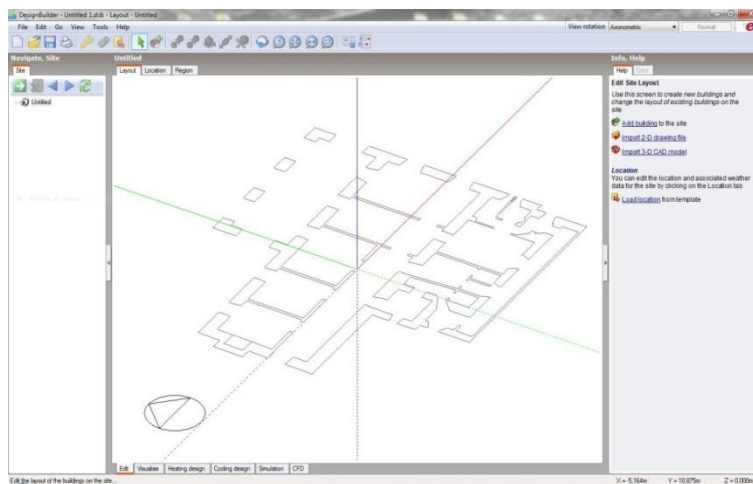


Figura 3.6 - Importação da planta do caso de estudo

Imediatamente a seguir à fase apresentada definem-se algumas características do modelo, tais como o tipo de dados que se pretende inserir e alguma informação relativa ao edifício (Figura 3.7). Nesta fase adotou-se a escolha de um *template* fornecido pelo programa, que assemelha o edifício em estudo a um edifício constituído por escritórios, relativamente ao seu tipo de construção e utilização (Figura 3.8). Estes dados serão posteriormente alterados, aquando da definição dos materiais, utilização do edifício e restantes características.

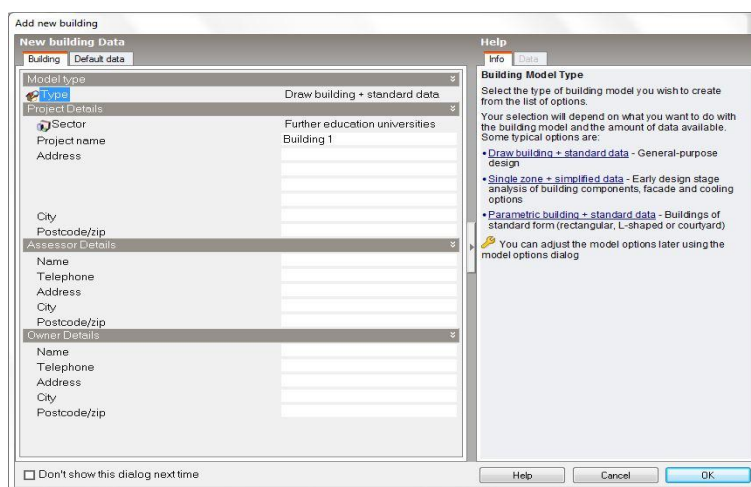


Figura 3.7 - Tipo de modelo adotado

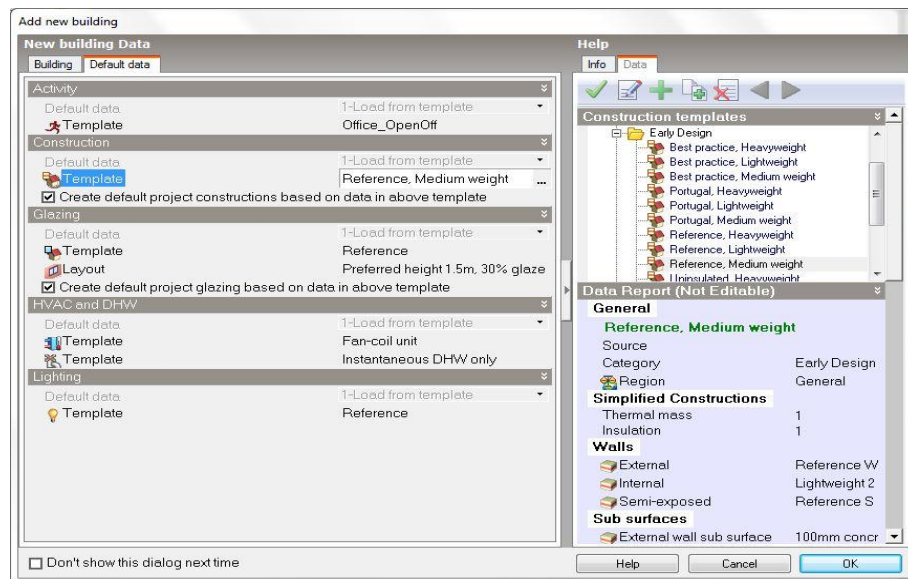


Figura 3.8 - Template adotado

A partir deste momento, aceitando as condições referidas, avança-se para a construção de volumes correspondentes a cada piso do edifício. Nas figuras 3.9 a 3.17 observa-se a criação de blocos, sendo relevante referir que a sua construção está condicionada pela geometria real. Assim sendo, foram criados blocos auxiliares e posteriormente abertas as seções laterais necessárias, de modo a simular uma única divisão com o bloco imediatamente encostado.

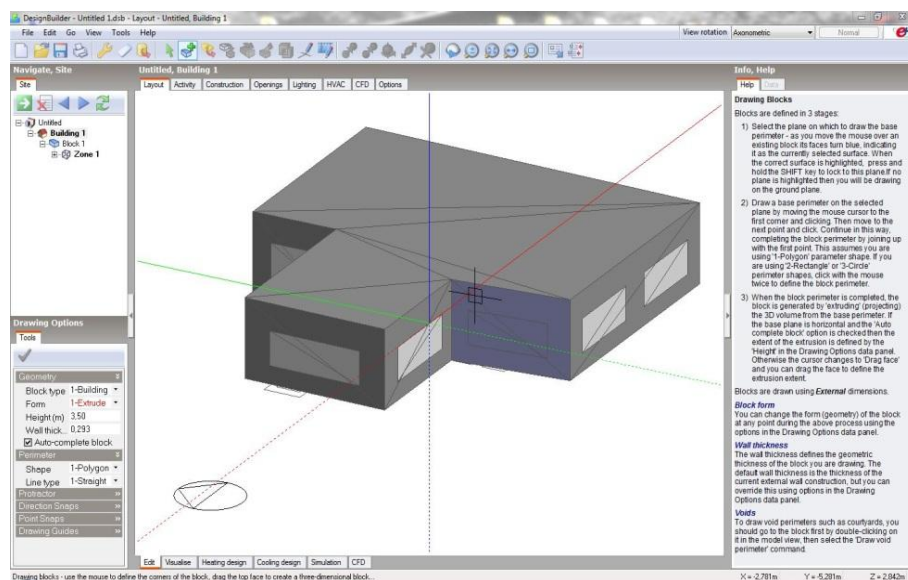


Figura 3.9 - Volume inicial

Após a criação de todos os volumes, procede-se à criação das paredes interiores, referenciadas no programa como “partitions”.

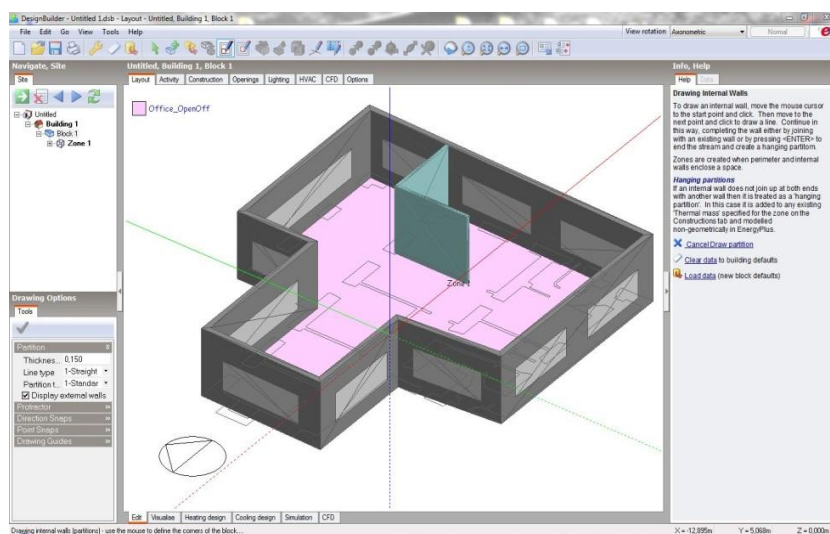


Figura 3.10 - Criação de paredes divisórias

A qualquer momento da criação do modelo pode facilmente seleccionar-se o separador “Visualise” para se tomar conhecimento do aspeto real do edifício em modelação.

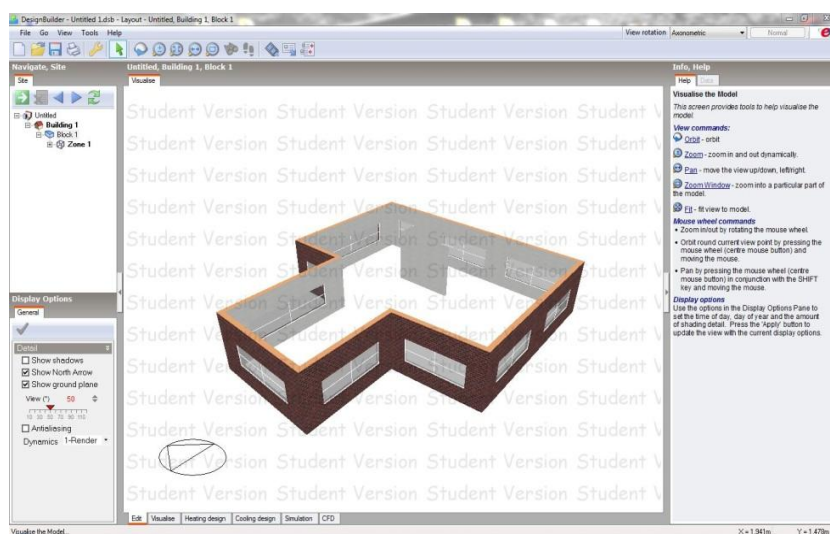


Figura 3.11 - Aspeto real do modelo recorrendo ao separador "Visualise"

Após a criação dos vários volumes e de peças auxiliares, conclui-se a definição da geometria do modelo, tendo-se obtido uma maquete virtual do edifício, devidamente orientada e escalada, como apresentado nas figuras seguintes.

Verifica-se também a definição das zonas criadas pelo programa para efeitos de estudo do comportamento térmico de cada uma em particular.

Uma vez que o sombreamento influencia significativamente o comportamento térmico de um edifício, foram modelados volumes representativos da vegetação existente e da altimetria do terreno circundante.

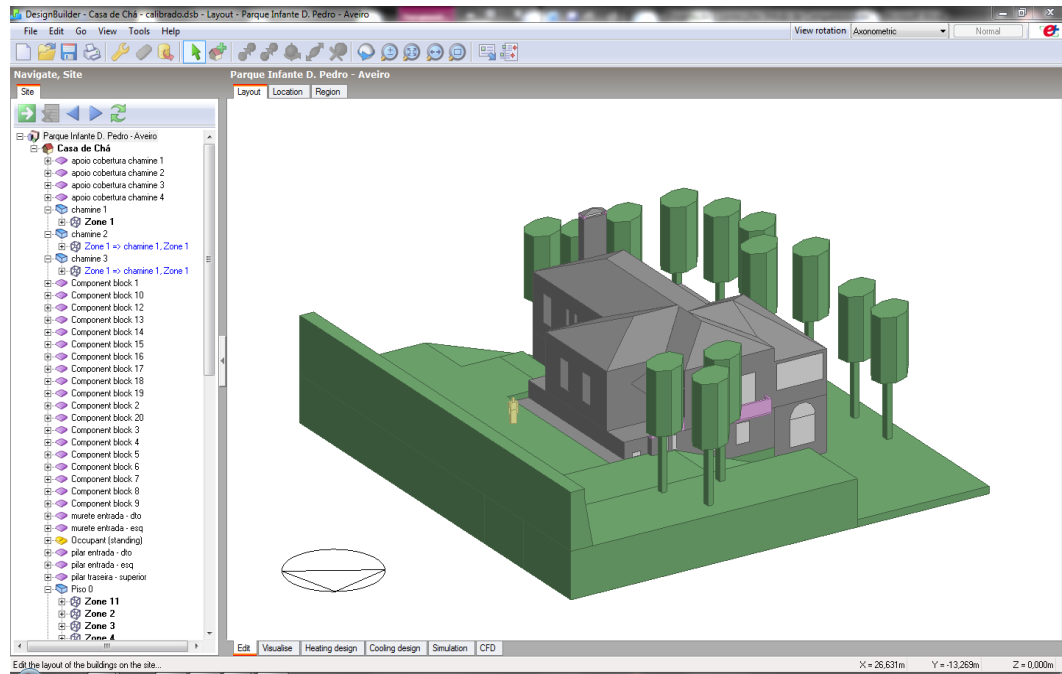


Figura 3.12 - Modelo Final (vista exterior Norte)

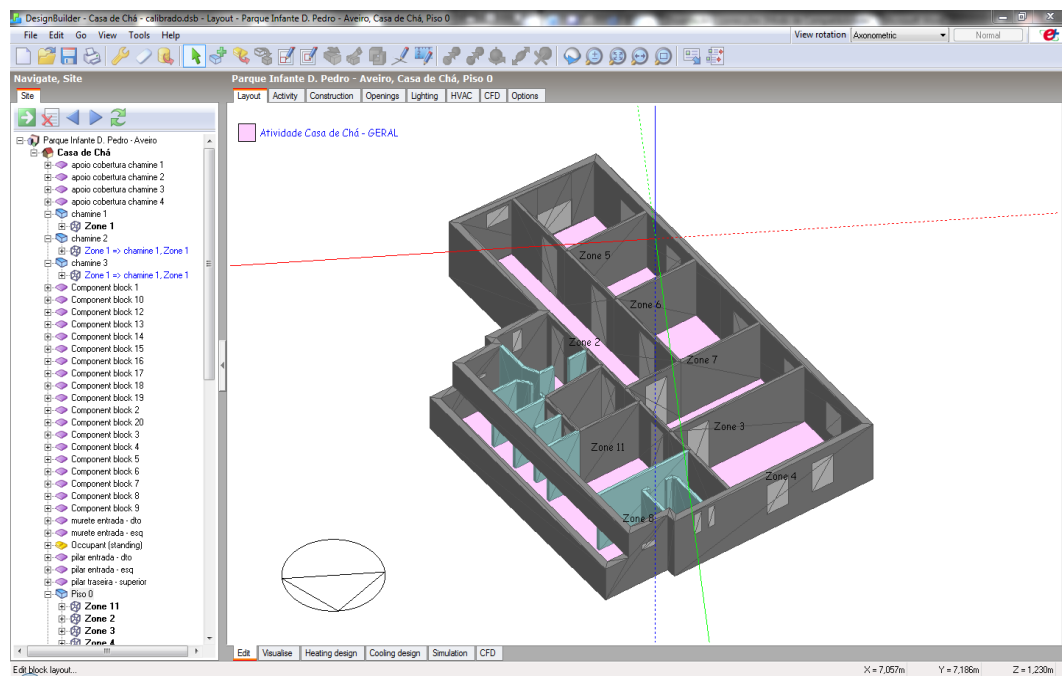


Figura 3.13 - Modelo Final (vista interior do 1º piso)

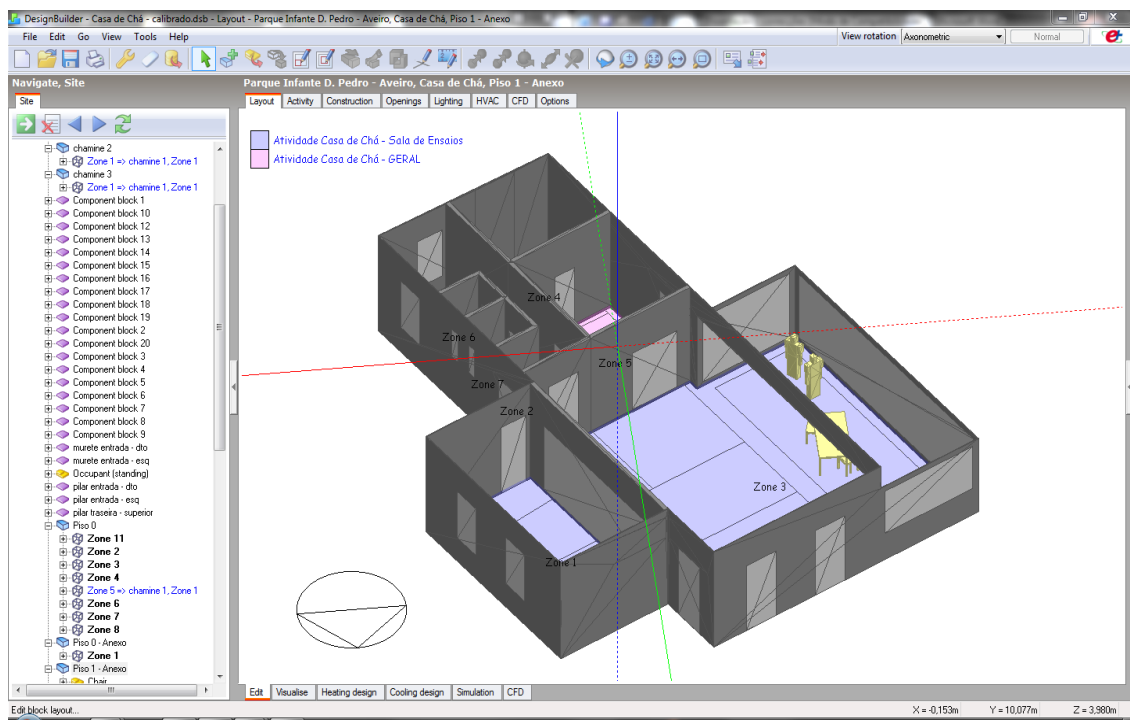


Figura 3.14 - Modelo Final (vista interior do 2º piso)

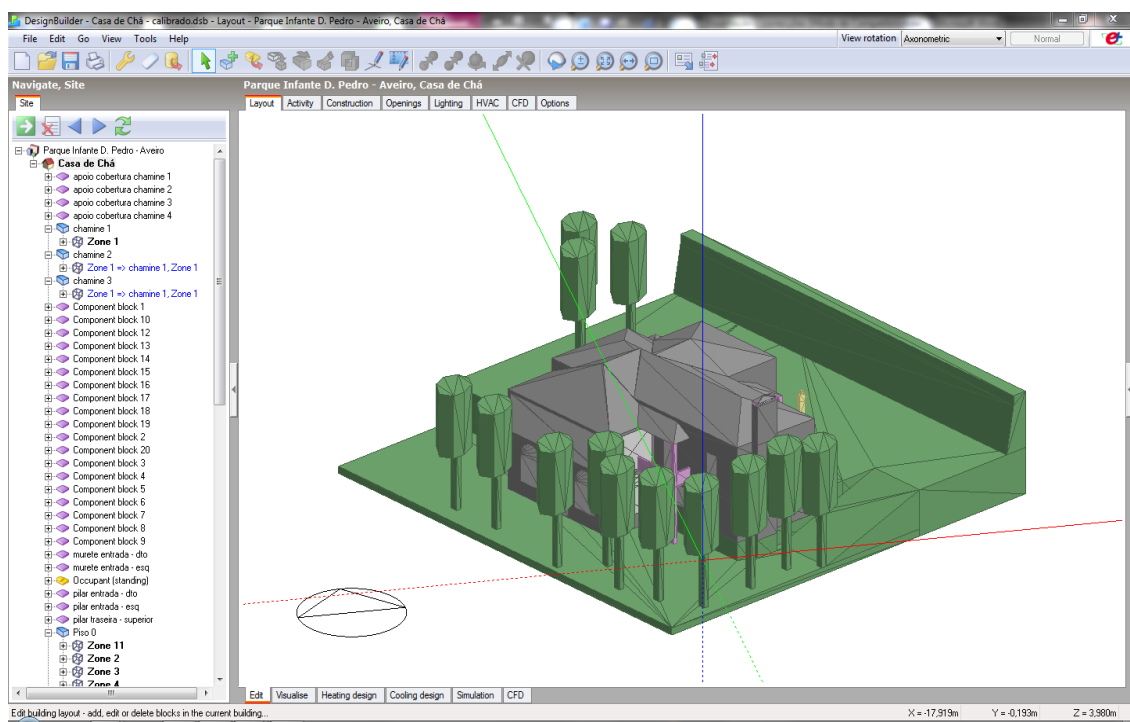


Figura 3.15 - Modelo Final (vista exterior Sul)

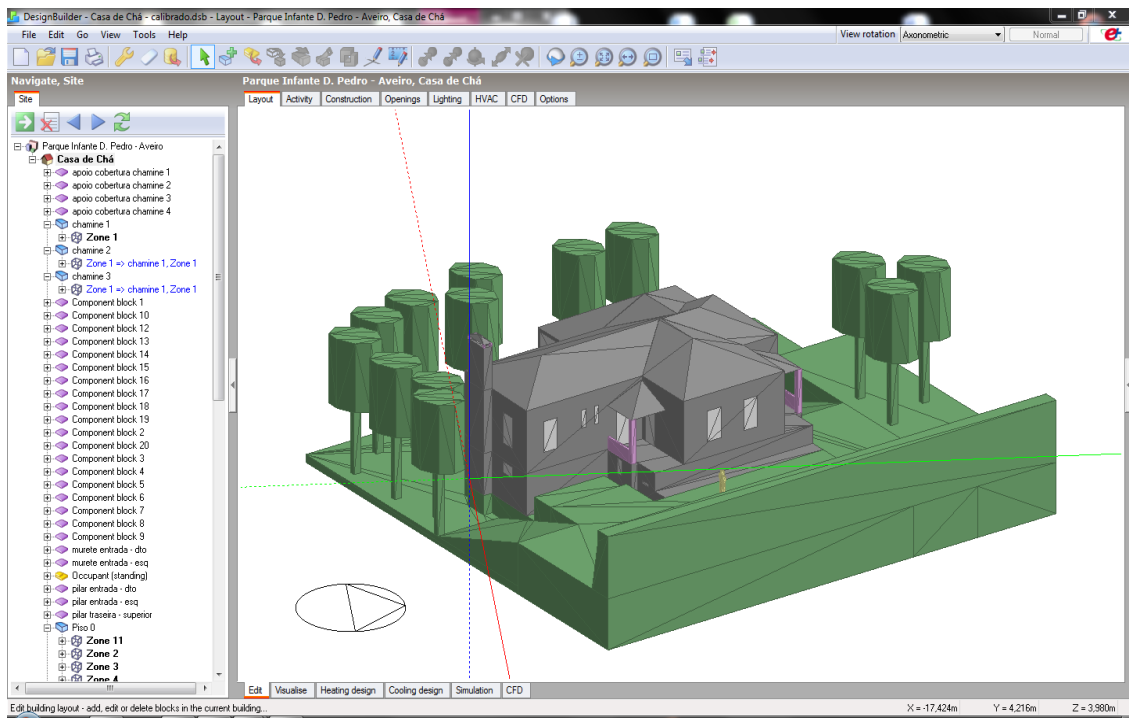


Figura 3.16 - Modelo Final (vista exterior Este)

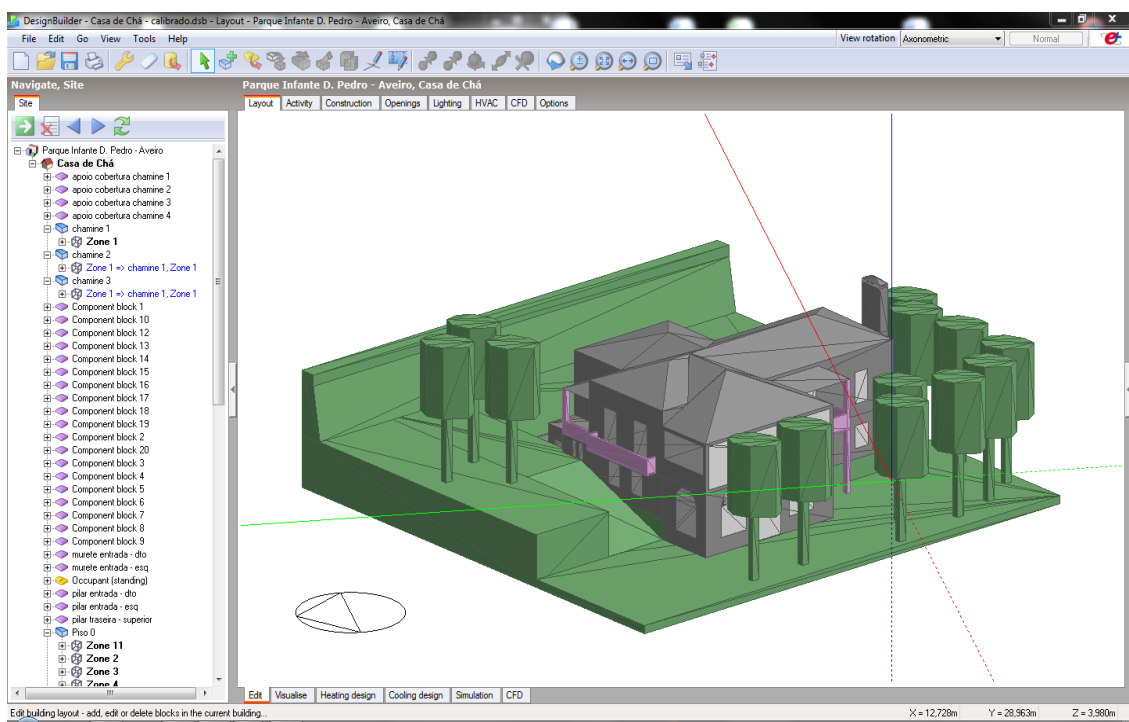


Figura 3.17 - Modelo Final (vista exterior Oeste)

Na definição da geometria do modelo pretendido, o programa permite pormenorizar cada elemento construtivo com o maior detalhe possível, como se pode ver nas figuras anteriores. Desta forma, fica ao critério do utilizador definir o grau de pormenor desejado consoante o objetivo pretendido.

Numa segunda fase da criação do modelo é necessário definir a localização do edifício, para que o programa possa simular o seu comportamento térmico. Assim sendo, como referido anteriormente, adotou-se a localização do Porto, para efeitos da simulação no programa, uma vez que este não disponibiliza a opção de localização em Aveiro.

Na Figura 3.18 podem observar-se as definições do tipo de solo e da precipitação característica da zona em estudo.

The screenshot displays a software interface for defining a location template. The 'Location Template' is set to 'PORTO/PEDRAS RUBRAS'. The 'Site Location' section shows Latitude (°) as 41.23 and Longitude (°) as -8.68. The 'Site Details' section includes Elevation above sea level (m) at 73.0, Exposure to wind at 2-Normal, and Site orientation (°) at 0. The 'Ground' section has a checked box for 'Add ground construction layers to surfaces in contact with ground (separate constru...'. The 'Construction' section shows 'Cultivated clay soil (0.5m)' and 'GranulatedGrey453M'. The 'Surface Reflection' section shows 'Surface solar reflectance' at 0.20, 'Snow reflected solar modifier' at 1.00, and 'Snow reflected daylight modifier' at 1.00. The 'Precipitation' section shows 'Design annual precipitation (m)' at 0.7500, 'Nominal annual precipitation (m)' at 0.7500, and 'Precipitation rate schedule' as Off. The 'Site Green Roof Irrigation' section shows 'Irrigation type' as 1-Scheduled, 'Max irrigation rate (m/hr)' at 1.0000, and 'Irrigation schedule' as Off. The 'Time and Daylight Saving' section is expanded, showing 'Time zone' as (GMT) Greenwich Mean Time: Dublin, Edinbur, and 'Use daylight saving' as checked. The 'Simulation Weather Data' section shows 'Winter Design Weather Data' and 'Summer Design Weather Data' as Off.

Figura 3.18 - Definição da localização

É também definido o fuso horário em vigor, como apresentado na Figura 3.19.

The screenshot displays a software interface for defining time zone and daylight saving settings. The 'Time zone' is set to '(GMT) Greenwich Mean Time: Dublin, Edinbur'. The 'Use daylight saving' checkbox is checked. The 'Start of Winter' is set to Oct, 'End of Winter' to Mar, 'Start of Summer' to Apr, and 'End of Summer' to Sep. The 'Simulation Weather Data' section shows 'Winter Design Weather Data' and 'Summer Design Weather Data' as Off.

Figura 3.19 - Definição do fuso horário

Podem também ser alterados os valores das variações de temperatura para as estações de Inverno e Verão, assim como os seus valores mínimos e máximos, e também valores para a velocidade do vento (Figura 3.20).

The screenshot shows a software interface for defining weather data. It includes sections for 'Location Template', 'Site Location', 'Site Details', 'Time and Daylight Saving', and 'Simulation Weather Data'. Under 'Simulation Weather Data', there are options for 'Hourly weather data' (set to 'PRT_PORTO_IWEC') and 'Winter Design Weather Data'. The 'Winter Design Weather Data' section is expanded, showing 'Heating 99.6% coverage' selected. Below this, there are input fields for 'Outside design temperature (°C)' (1.9), 'Wind speed (m/s)' (12.5), and 'Wind direction (°)' (0.0). There is also an option for 'Heating 99% coverage'. Below this, there is a section for 'Summer Design Weather Data' with a dropdown for 'Lag from Solar Midday'. Under 'Summer Design Weather Data', there are input fields for 'Dry-bulb temperature (°C)' (3.0) and 'Wet-bulb temperature (°C)' (3.0). Below this, there is a section for 'Design Temperatures' with '99.6% coverage (based on dry-bulb temp.)' selected. Below this, there are input fields for 'Max dry-bulb temperature (°C)' (29.9), 'Coincident wet-bulb temperature (°C)' (19.5), and 'Min dry-bulb temperature (°C)' (21.1). There are also several other options for coverage based on dry-bulb and wet-bulb temperatures.

Figura 3.20 - Definição de valores para as estações de Inverno e Verão

No separador “*Region*” são definidas as condições de isolamento *standard* para o modelo, sendo que todas elas poderão ser definidas por cada objeto individualmente (Figura 3.21).

The screenshot shows a software interface for defining insulation conditions. It includes a dropdown for 'Legislative Region' and a dropdown for 'Region' (set to 'PORTUGAL'). Below this, there is a section for 'Energy Codes / Insulation Standards' with a dropdown. Under 'Energy Codes / Insulation Standards', there are options for 'Uninsulated' (Uninsulated), 'Typical' (Reference), 'Mandatory energy code' (Portugal), and 'Best practice' (Cold winter 'best practice').

Figura 3.21 - Definição de Condições de Isolamento

Na fase seguinte, avançando para o separador “*Activity*”, como o próprio nome indica, são definidas as características da atividade e utilização do edifício em estudo (Figura 3.22). Nesta fase, foram criados dois *templates* de funcionamento de escritórios. Um para todo o edifício e outro para a sala de ensaio (sala sujeita a estudo com o termo

higrógrafo), onde a ocupação diária foi majorada de modo a fazer face à utilização nos horários dos ensaios, onde se reúnem no mesmo espaço cerca de vinte pessoas durante aquele intervalo de tempo.

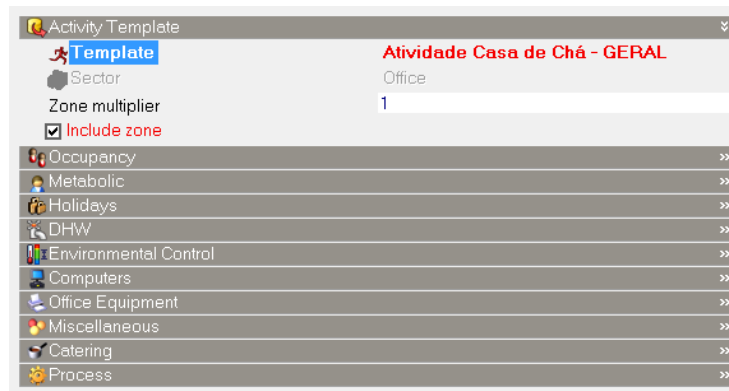


Figura 3.22 - Definição do *template* para a atividade

Definiu-se uma ocupação de 0,11 pessoas por metro quadrado para todo o edifício (Figura 3.23).

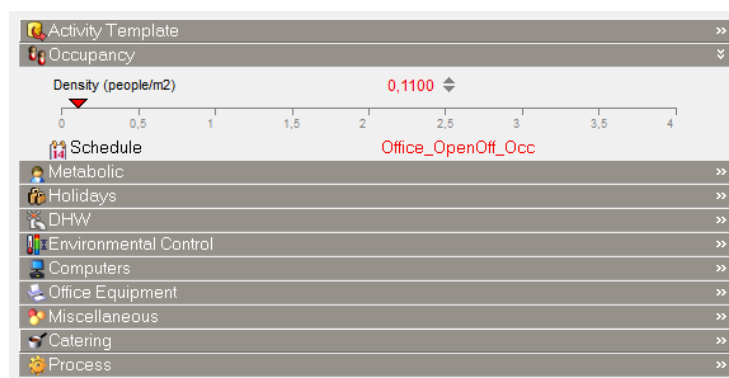


Figura 3.23 - Definição da ocupação

De seguida foram definidos os valores para o metabolismo das pessoas que ocupam o edifício. Considerando o valor do metabolismo masculino como 1,0 e o feminino como 0,85, adotou-se um valor de 0,90 uma vez que a utilização é mista (Figura 3.24).

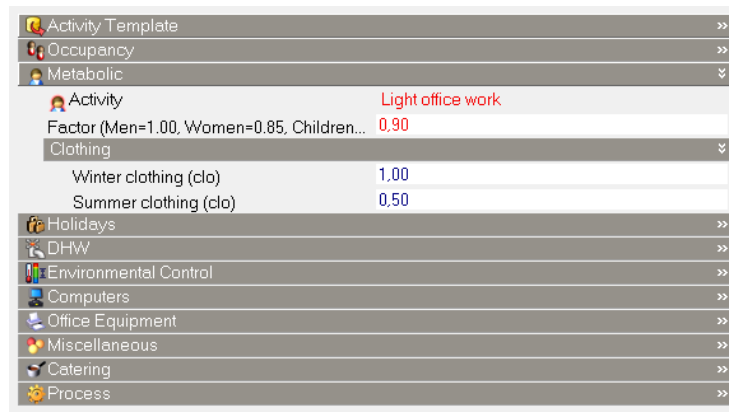


Figura 3.24 - Definição do metabolismo

Uma vez que a utilização do edifício é regular ao longo do ano, considerou-se a inexistência de períodos de férias, de modo a garantir uma análise mais uniforme para o modelo em estudo (Figura 3.25).



Figura 3.25 - Definição do período de férias

Para contabilizar os efeitos da utilização de água quente no comportamento térmico do edifício, é permitido inserir valores para estes consumos. Assim sendo, no campo “DHW” de *Domestic Hot Water* foi adotada um valor de 0,33 l/m².dia (Figura 3.26).

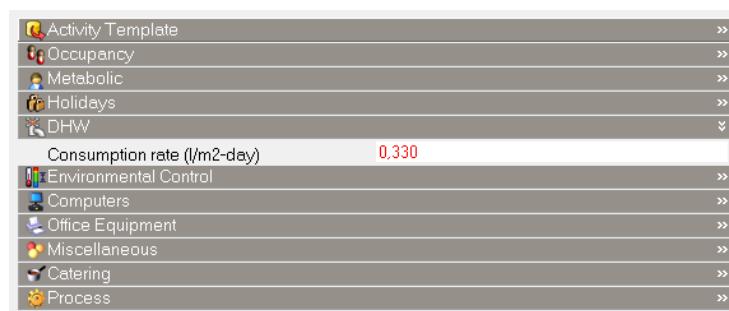


Figura 3.26 - Definição do consumo de água quente

Na Figura 3.27 podem observar-se as definições para o controlo da temperatura ambiente, por aquecimento ou por arrefecimento.

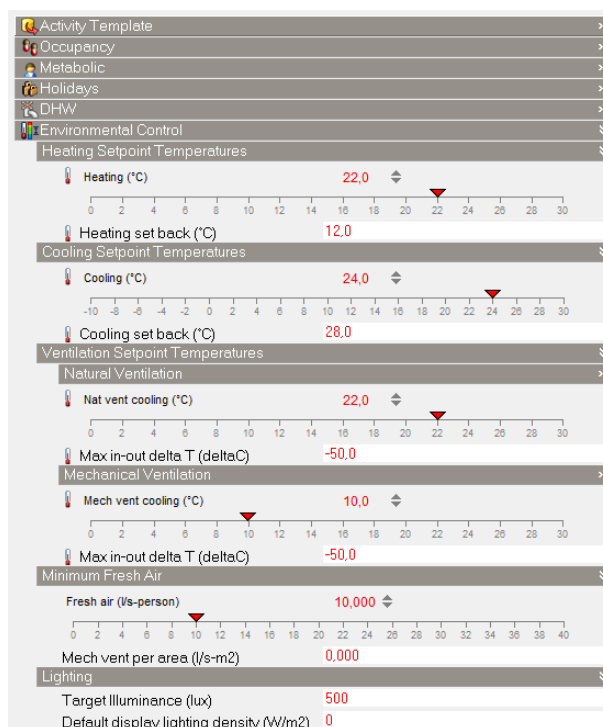


Figura 3.27 - Controlo da temperatura ambiente

De seguida podem ser definidas as condições de utilização de equipamentos suscetíveis de originar ganhos térmicos, tais como computadores, equipamentos de escritório e acessórios de *catering* (Figura 3.28). Para o modelo em questão, todos estes parâmetros foram desativados, uma vez que se pretende avaliar o comportamento térmico do edifício, tendo em conta os elementos construtivos do mesmo e não propriamente a sua utilização.

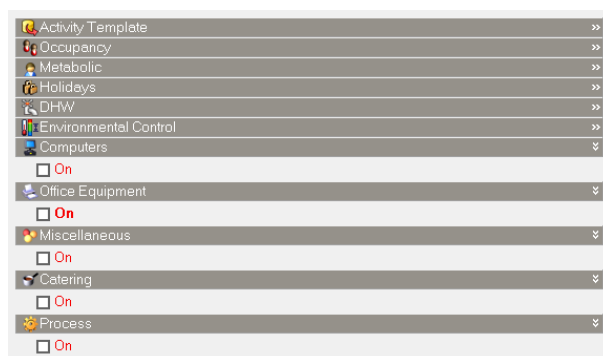


Figura 3.28 - Definição de equipamentos

De seguida, entra-se naquela que é possivelmente a fase mais relevante de todo o procedimento. Trata-se pois da definição dos materiais que constituem o edifício. Uma vez que são estes os principais responsáveis pelo comportamento térmico do edifício, foi nesta definição onde se tomou maior atenção ao pormenor do modelo.

Inicia-se este processo com a definição de um *template* com o nome “Casa de Chá”, como apresentado na Figura 3.29. De seguida editar-se-á este *template* de modo a garantir que todo o edifício obedece a estas características. Caso se pretenda guarnecer alguma divisão de outro tipo de materiais ao nível da sua construção, é possível fazê-lo selecionando, para isso, a zona pretendida, e definir, para cada zona, as características pretendidas. Selecionando o *template* desejado encontramos-nos capazes de iniciar a introdução das características desse mesmo *template*.



Figura 3.29 - Criação de um *template* para o tipo de construção

Assim sendo, como apresentado na Figura 3.30, definiram-se os materiais dos elementos construtivos do caso de estudo.

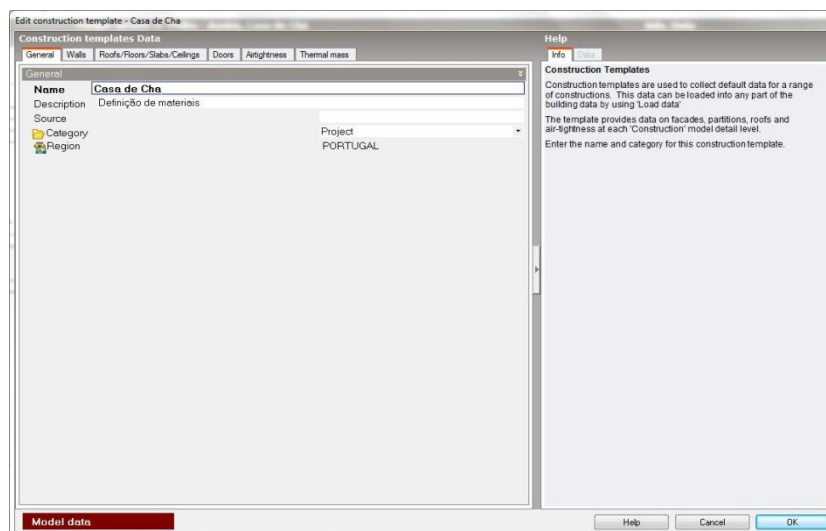


Figura 3.30 - Definição de materiais do *template* "Casa de Chá"

Atendendo às características atuais do edifício em causa, foram então definidos todos os materiais que o constituem.

Foram criados elementos construtivos especificamente para o caso de estudo, nomeadamente para as paredes exteriores, paredes interiores, portas interiores e exteriores, cobertura inclinada e envidraçados.

Nas figuras que se seguem são apresentadas todas essas definições detalhadamente.

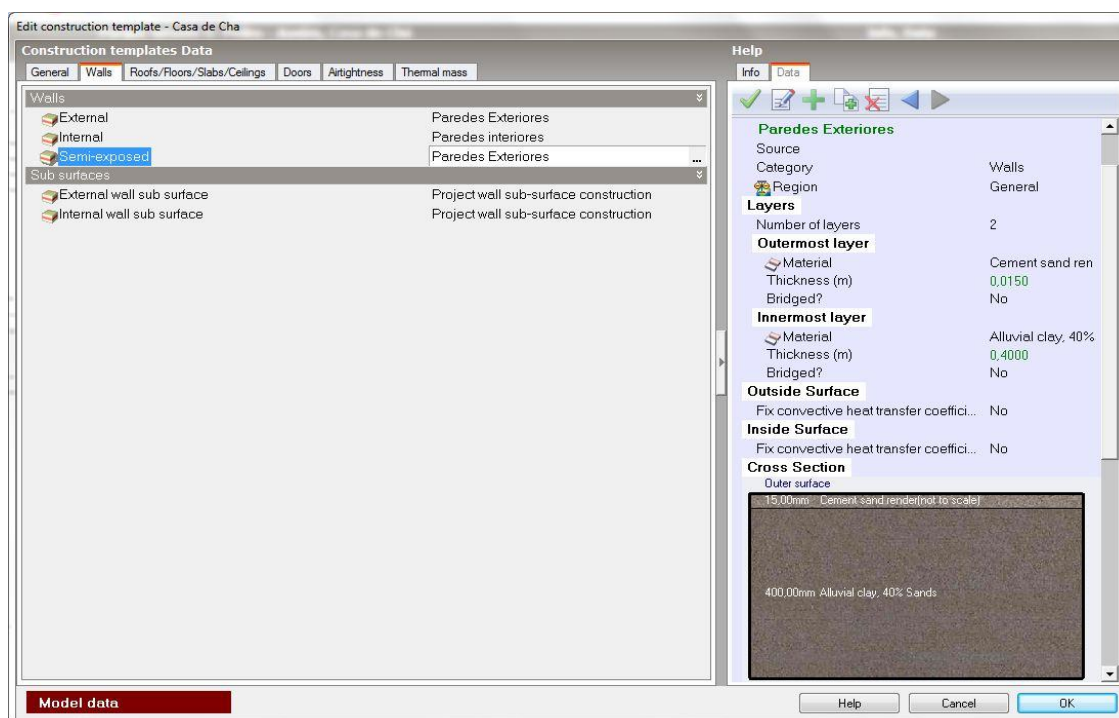


Figura 3.31 - Definição das paredes exteriores

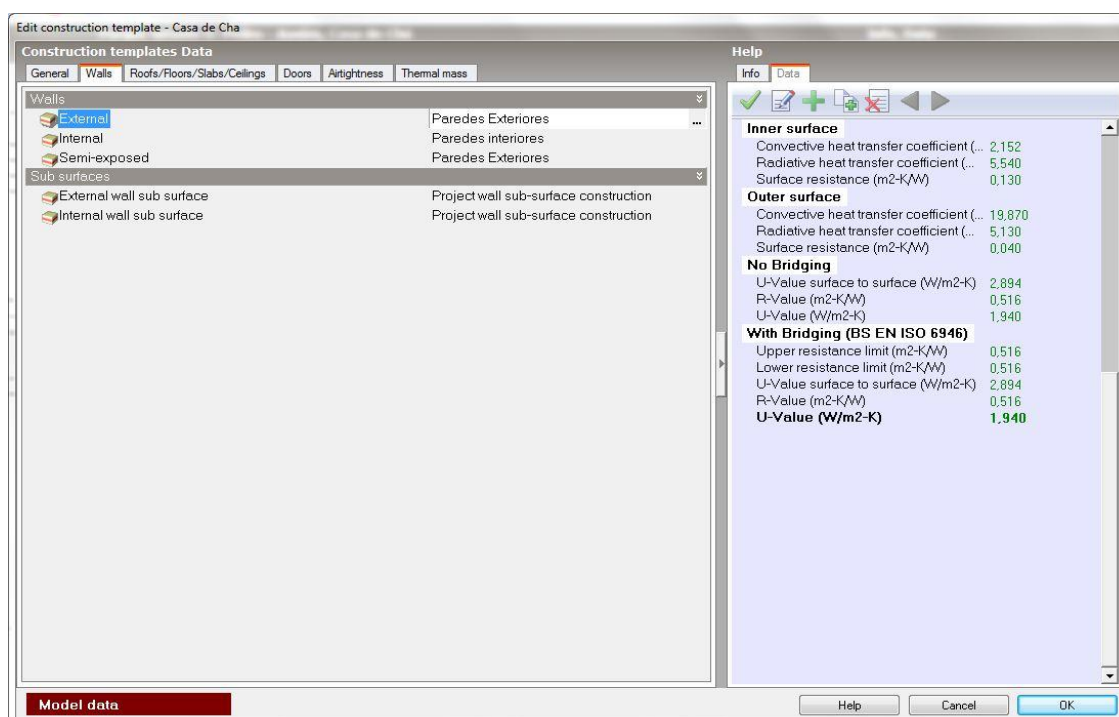


Figura 3.32 - Propriedades das paredes exteriores

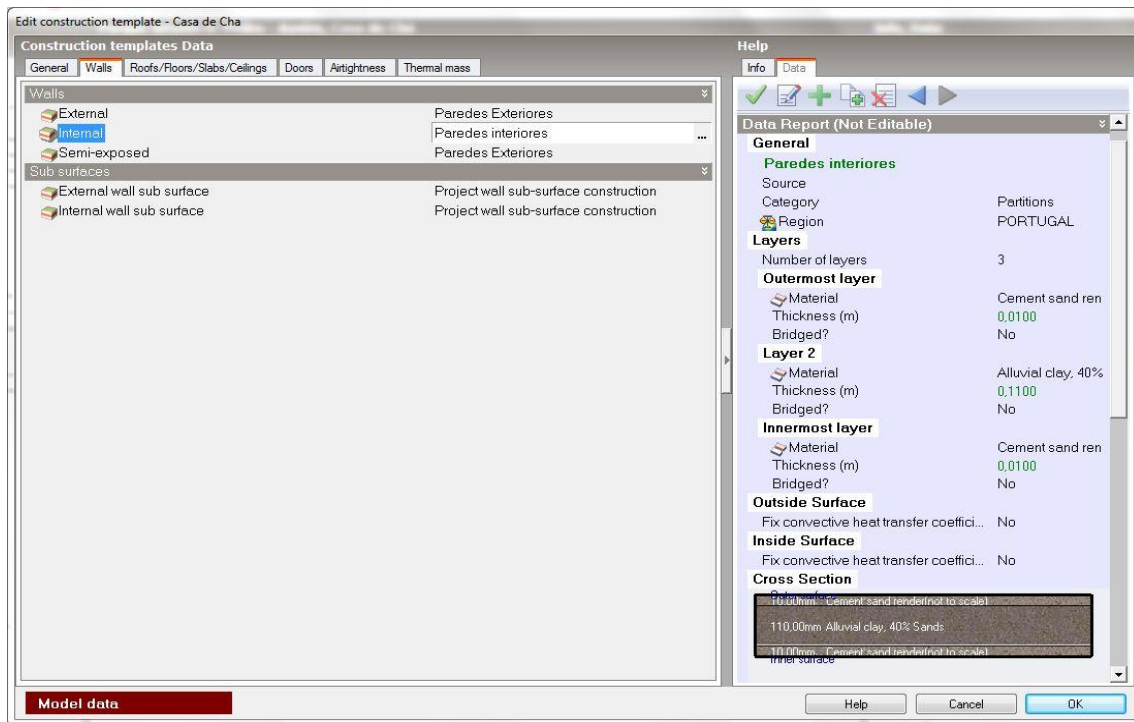


Figura 3.33 - Definição das paredes interiores

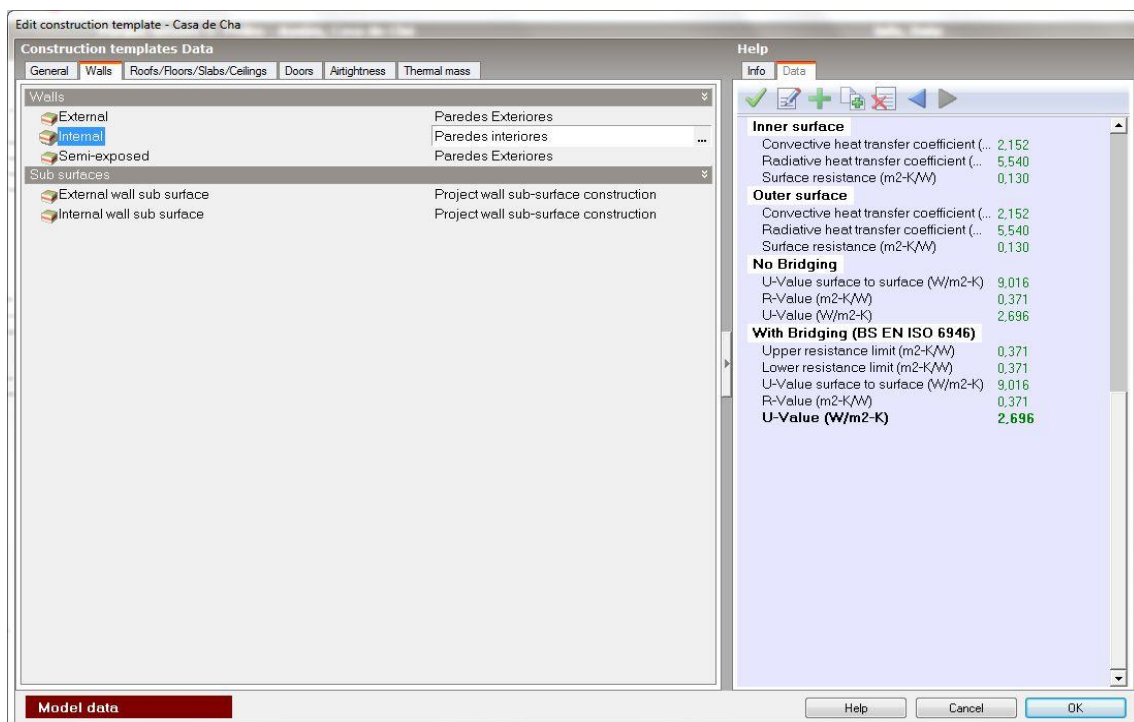


Figura 3.34 - Propriedades das paredes interiores

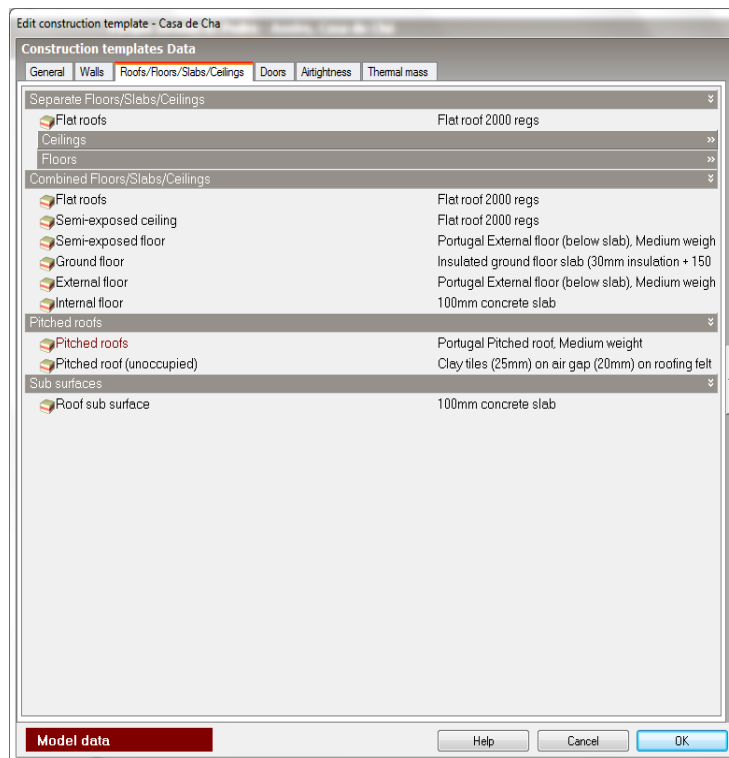


Figura 3.35 - Definição do pavimento

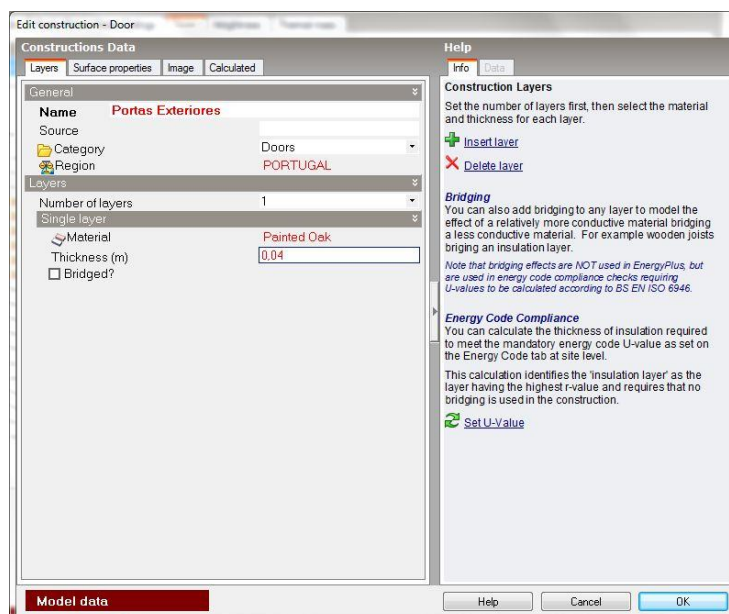


Figura 3.36 - Definição das portas exteriores

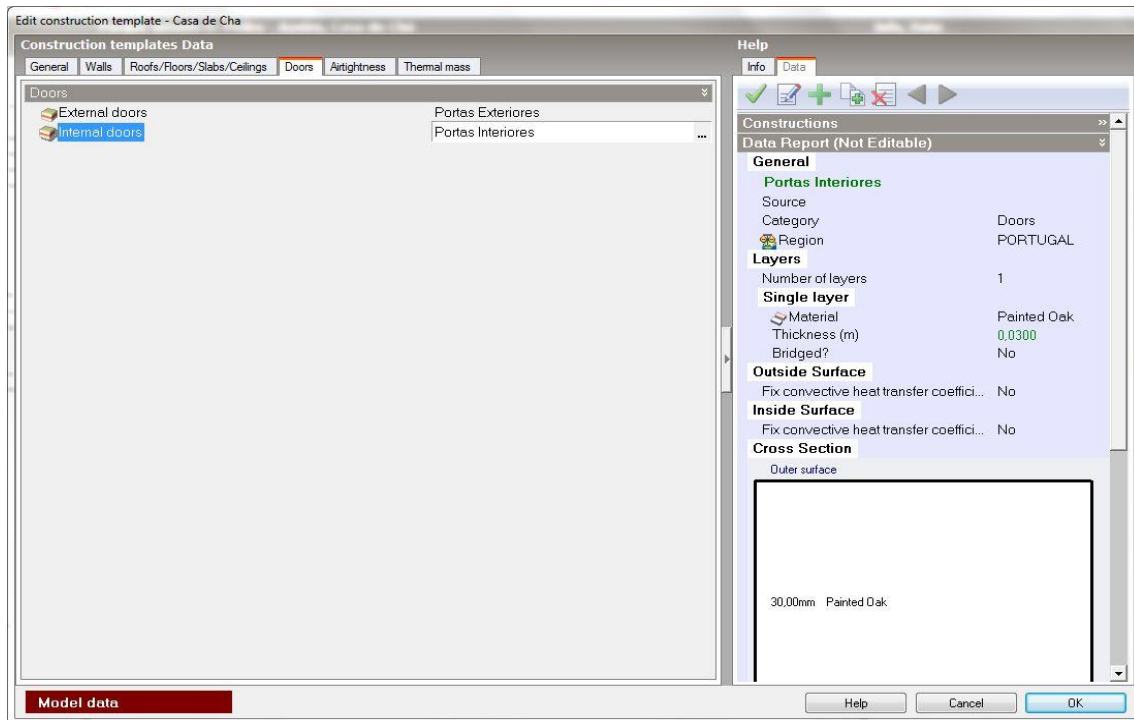


Figura 3.37 - Definição das portas interiores

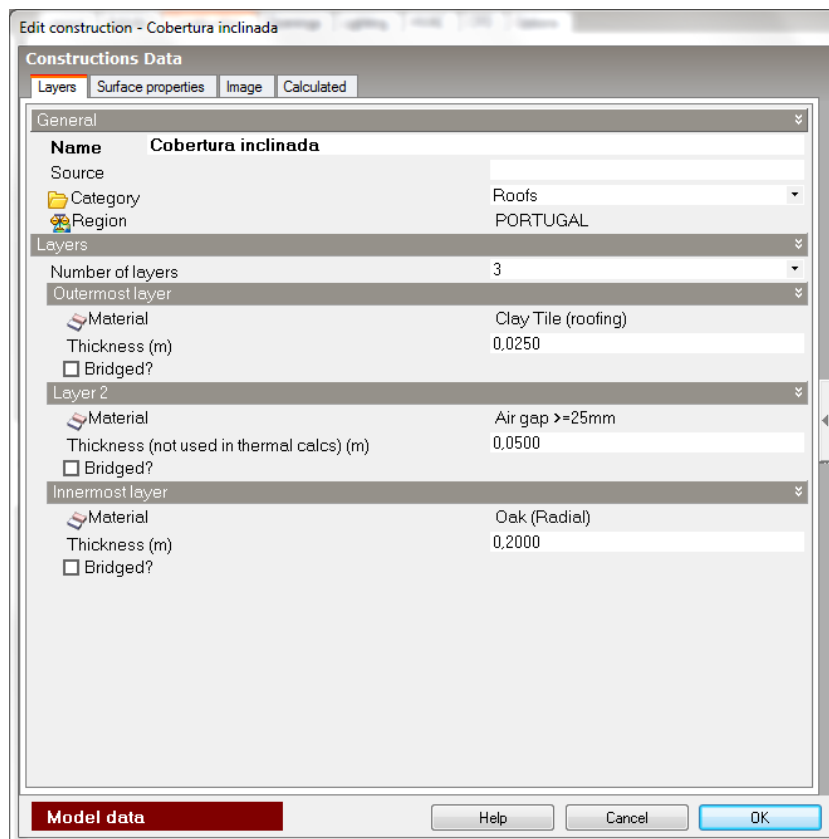


Figura 3.38 - Definição da cobertura inclinada

Na definição dos envidraçados foram consideradas as características atuais do edifício.

Adotou-se, assim, o *template* “Single glazing” para definição inicial dos vãos envidraçados (Figura 3.39). No caso dos envidraçados pertencentes à envolvente exterior do edifício foram considerados vidros simples de 6mm de espessura. Considerou-se também a existência do ripado de madeira nas janelas da envolvente (Figura 3.40).



Figura 3.39 - Definição do *template* para os vãos envidraçados

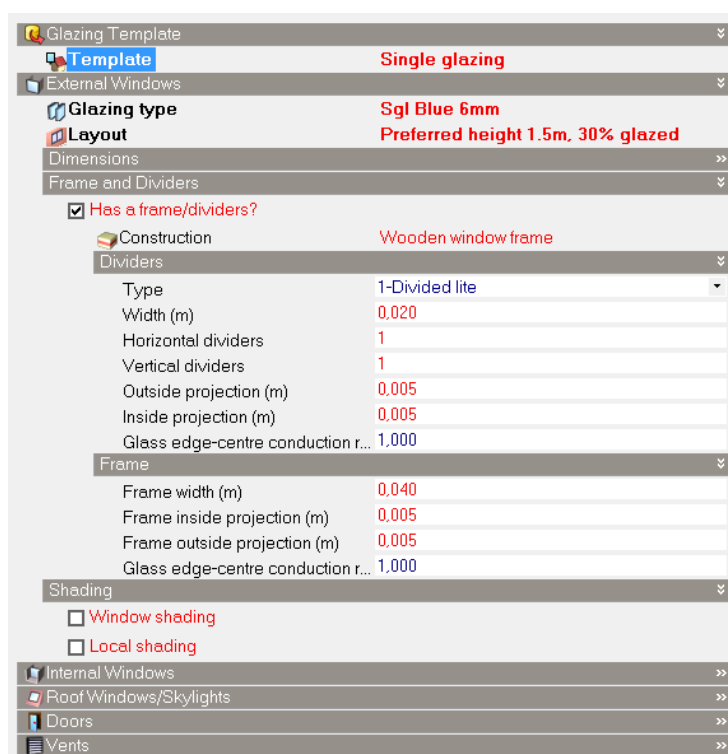


Figura 3.40 - Definição dos envidraçados exteriores

A sala de ensaios do edifício em estudo possui três vãos envidraçados com características particulares. Nestes casos, considerou-se a existência de vidro duplo de 6mm com caixilho em alumínio (Figura 3.41).

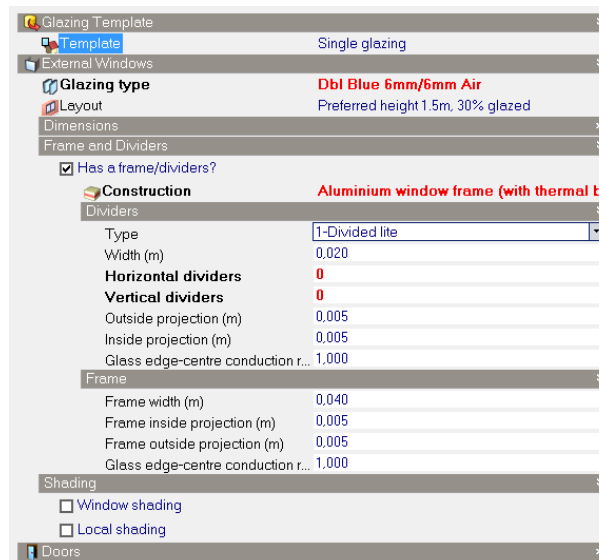


Figura 3.41 - Definição dos envidraçados exteriores da Sala de Ensaio

Uma vez que não existem envidraçados no interior do edifício, esta opção foi desativada (Figura 3.42).



Figura 3.42 - Inexistência de envidraçados interiores

O mesmo acontece com envidraçados na cobertura. Uma vez que o edifício em causa não possui este tipo de elementos, foram também desativadas as opções referentes aos mesmos (Figura 3.43).

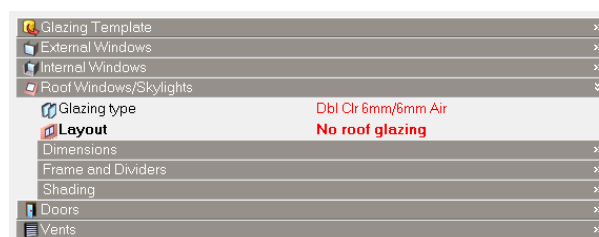


Figura 3.43 - Inexistência de envidraçados na cobertura

O programa permite definir um padrão de aberturas exteriores através da percentagem da área da fachada e da percentagem de tempo em que estas se encontram abertas. Uma

vez que a geometria do edifício foi definida pormenorizadamente no que diz respeito às dimensões e posição de todas as portas e janelas, esta opção foi também desativada (Figura 3.44).

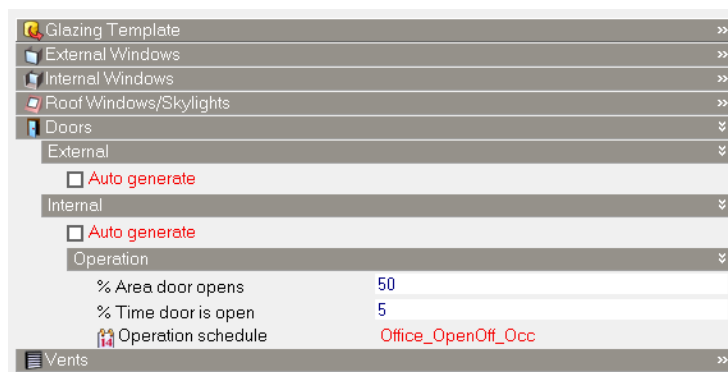


Figura 3.44 - Aberturas exteriores

Não foi detetada a existência de aberturas para ventilação pelo que também se desativou esta opção no respetivo separador (Figura 3.45).

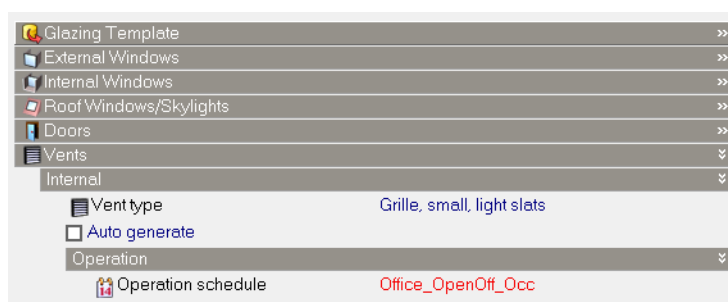


Figura 3.45 - Inexistência de aberturas para ventilação

Quanto à iluminação do edifício, o programa permite também definir as suas características. Adotou-se para o caso de estudo, o *template* relativo à iluminação correspondente a Portugal Continental (Figura 3.46).



Figura 3.46 - Definição do *template* para iluminação

Relativamente ao ganho energético originado pela utilização de iluminação artificial no interior do edifício, considerou-se o valor de 20 W/m^2 (Figura 3.47).

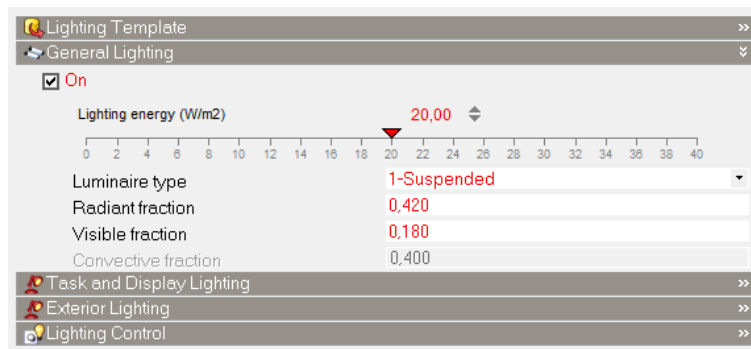


Figura 3.47 - Ganho energético originado pela iluminação artificial

A iluminação gerada pelos equipamentos, nomeadamente candeeiros de secretária e monitores de computadores, não foi considerada para efeitos do cálculo térmico do edifício.

De seguida é apresentado o separador relativo aos sistemas de “HVAC”, sigla de *heating, ventilation and air conditioning* (aquecimento, ventilação e ar condicionado – AVAC) (Figura 3.48).

Foi considerado, como indicado anteriormente, o efeito do consumo de água quente, sendo necessário nesta fase definir a temperatura de serviço da água. O valor adotado para este parâmetro foi de 65°C (Figura 3.49).

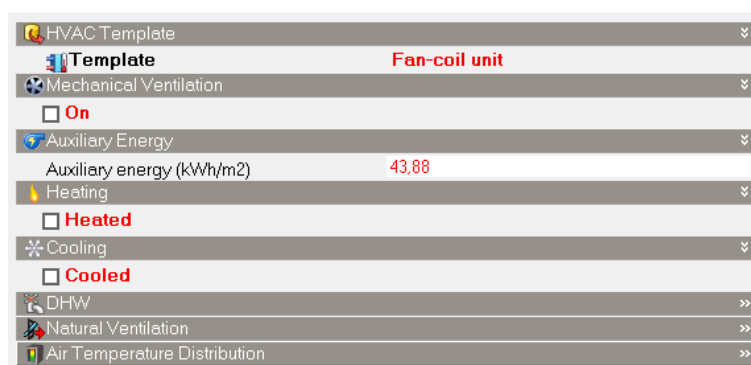


Figura 3.48 - Definição de sistemas HVAC

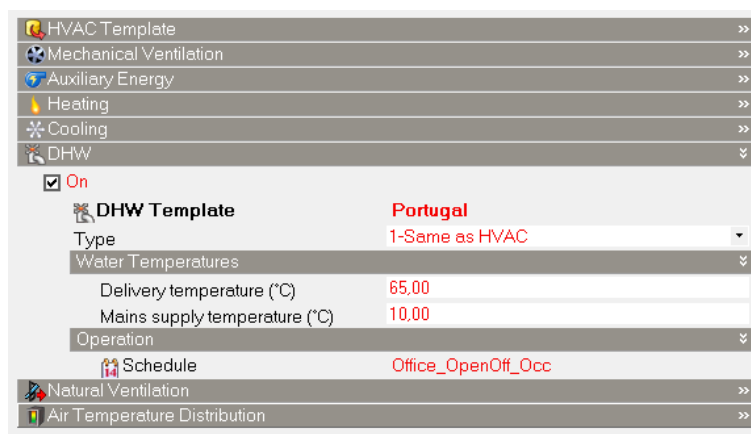


Figura 3.49 - Consumo de água quente

O *software Design Builder* permite fazer uma análise recorrendo ao “CFD”, sigla de “*Computational fluid dynamics*”.

Uma vez que na presente dissertação não é feita esse tipo de análise, os valores referentes a este campo não foram alterados. Apresenta-se na Figura 3.50 o separador “CFD”, apenas para demonstração da definição das condições limite deste parâmetro.

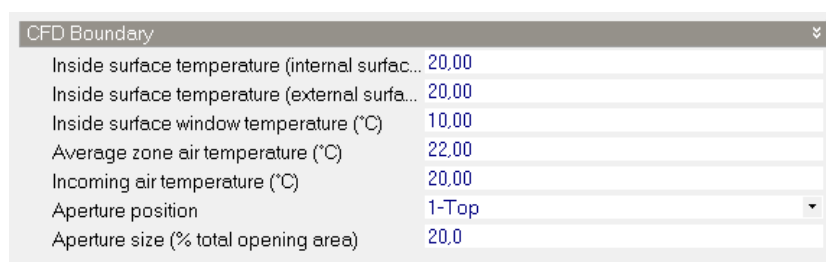


Figura 3.50 - Condições CFD

Neste momento, o modelo encontra-se concluído. É importante nesta fase fazer uma revisão geral a todas as definições e também definir casos excecionais que se pretendam incluir no modelo, tais como características individuais de algumas zonas.

No caso de estudo, uma vez que apenas se avaliará o comportamento térmico da sala de ensaio, optou-se por definir, para este caso, um *template* específico (Figura 3.51), onde é definida a utilização desta zona tendo em conta os horários em que decorrem os ensaios.

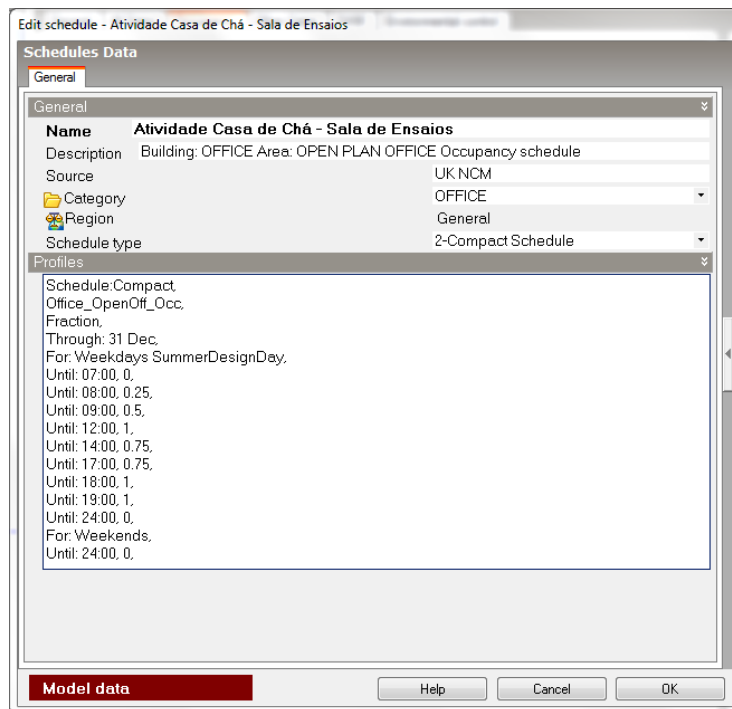


Figura 3.51 - Ocupação da sala de ensaios

Recorrendo ao separador “Visualise” pode ter-se uma perspetiva geral do modelo final, contendo este já o aspeto aproximado do edifício real (Figuras 3.52, 3.53, 3.54).

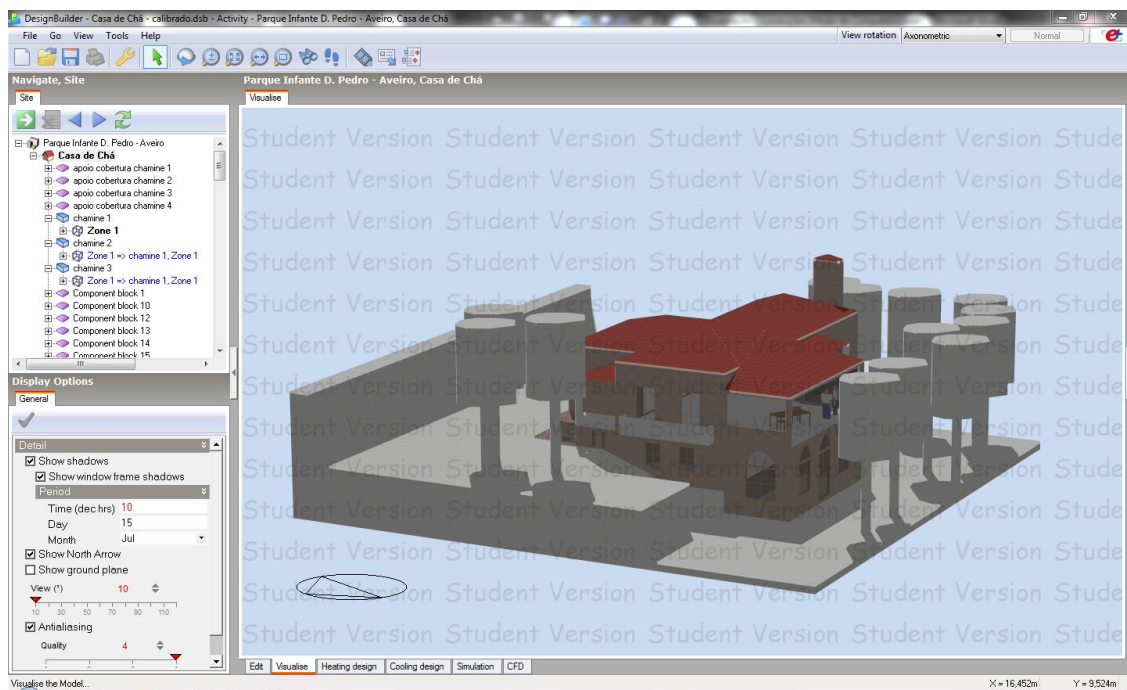


Figura 3.52 - "Visualise" (vista Oeste)

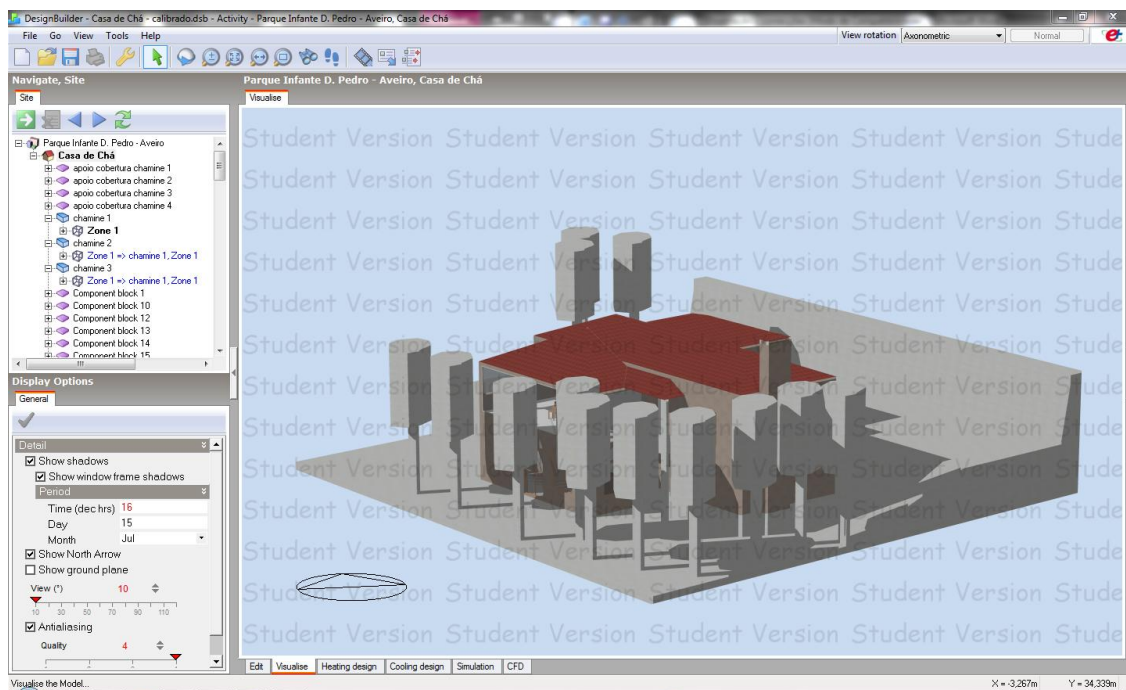


Figura 3.53 - "Visualise" (vista Sul)

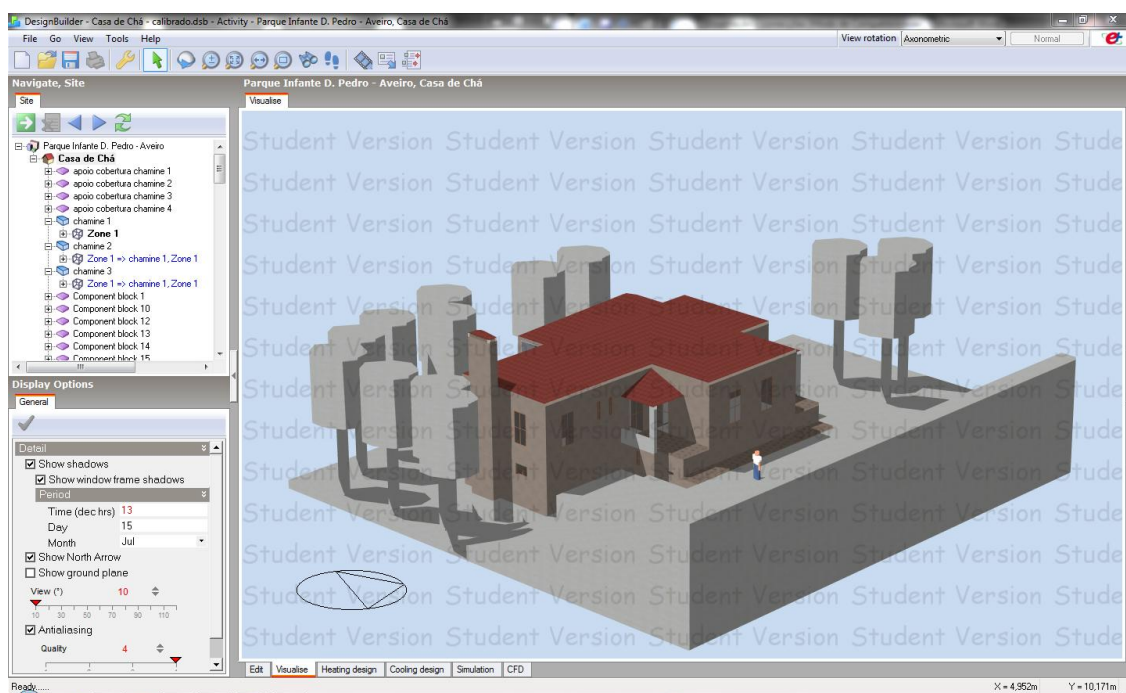


Figura 3.54 - "Visualise" (vista Este)

É necessário definir o leque de resultados que se pretendem após a simulação. Deste modo, são apresentadas na Figura 3.55, algumas das opções de resultados que se podem escolher.

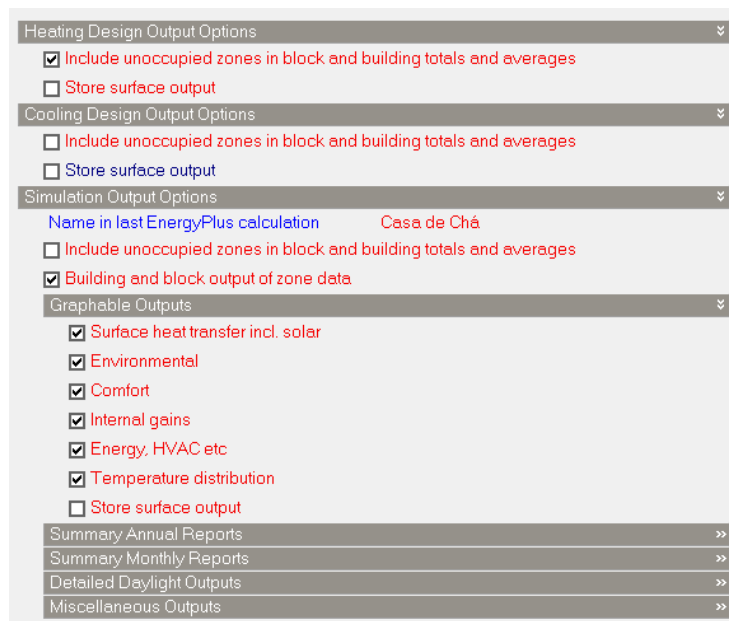


Figura 3.55 - Opções para o período de Aquecimento e Arrefecimento

Depois de definidas todas as opções relativas aos relatórios pretendidos, selecionando o separador “*Simulation*”, é apresentado o quadro da Figura 3.56 para definição do período de simulação pretendido, assim como a opção de análise anual, mensal, diária e horária.

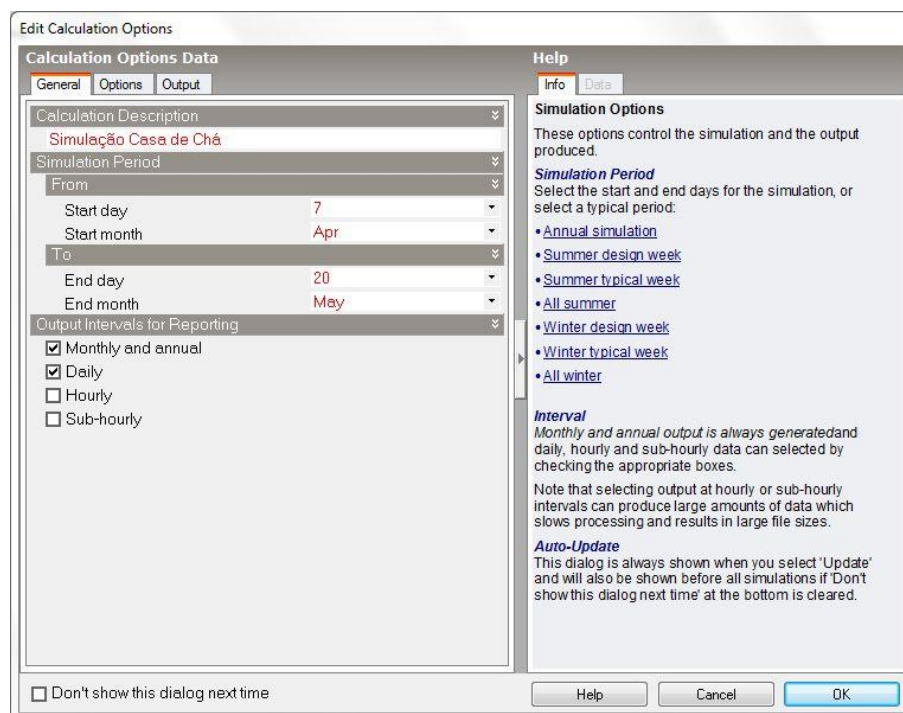


Figura 3.56 - Definição do período de simulação

É também possível definir o número de simulações por hora e o tipo de distribuição solar (Figura 3.57).

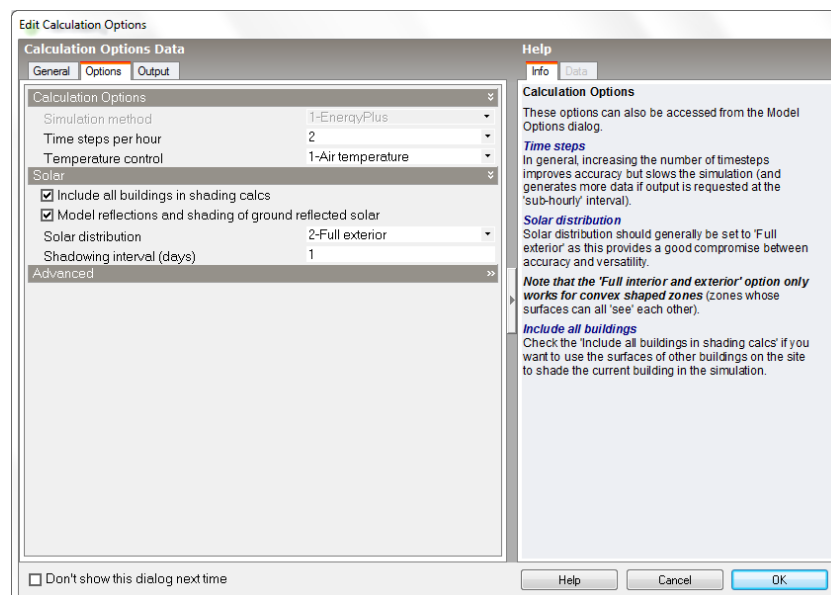


Figura 3.57 - Definição do número de simulações por hora e da distribuição solar

São definidos na Figura 3.58 os parâmetros que se pretendem que sejam apresentados de forma gráfica no final da simulação.

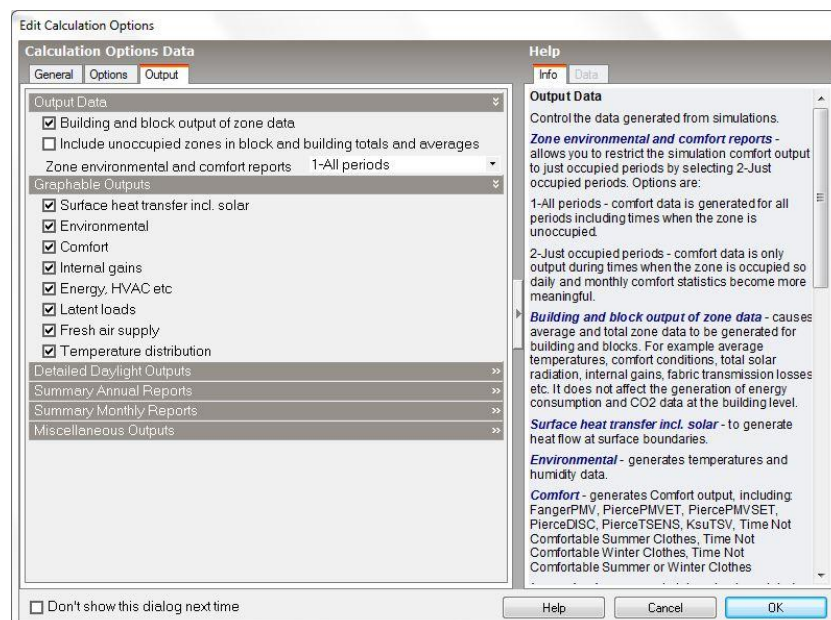


Figura 3.58 - Definição de "outputs" gráficos

Para efeitos de cumprimento dos objetivos propostos na presente dissertação, fizeram-se diversas simulações recorrendo ao *software Design Builder*. Assim sendo, registaram-se

os dados climáticos com o termo higrógrafo no período de 7 de Abril a 20 de Maio de 2010 e de seguida, respeitando as condições atuais do edifício, fez-se a simulação com o *Design Builder*, para o mesmo período, de modo a garantir que existia uma semelhança entre o comportamento térmico real do edifício e o comportamento térmico simulado pelo programa. Através do estudo com o termo higrógrafo concluiu-se que o dia mais quente deste período ocorreu a 20 de Maio e o mais frio a 12 de Maio. Foram feitas simulações diárias para estes casos com o programa *Design Builder*.

Até se atingir uma relação aceitável entre os dados fornecidos pelo programa e os dados reais, o modelo teve de ser calibrado, de modo a garantir a analogia entre os dois tipos de estudo.

De seguida simulou-se o comportamento térmico do edifício para o ano inteiro, para o dia mais quente do ano, 11 de Agosto e para o dia mais frio, 20 de Janeiro.

Após terem sido aplicadas as alterações referentes às medidas de melhoria térmica do edifício em causa, como apresentado à frente, fizeram-se novamente simulações para o ano inteiro, para o dia mais frio e para o dia mais quente, de modo a avaliar as alterações no comportamento térmico do caso de estudo, antes e após a reabilitação térmica.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO NAS CONDIÇÕES ATUAIS

- 4.1. Comparação entre os dados registados com o termo higrógrafo e os dados climáticos da Cidade de Aveiro
- 4.2. Confronto entre os resultados da simulação com o Design Builder e os dados registados com o termo higrógrafo
- 4.3. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder para as condições atuais do edifício
- 4.4. Apresentação das necessidades energéticas do edifício antes da reabilitação térmica
- 4.5. Índice de conforto de *Fanger*

4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO NAS CONDIÇÕES ATUAIS

No presente capítulo faz-se a análise do comportamento térmico do edifício atendendo às suas condições atuais, ou seja, obedecendo a todas as características presentes no edifício.

4.1. Comparação entre os dados registados com o Termo Higrógrafo e os dados climáticos da Cidade de Aveiro

Uma primeira análise será feita recorrendo ao equipamento termo higrógrafo, que consiste num aparelho capaz de medir a temperatura e a humidade relativa de uma determinada zona, por um determinado período de tempo.

Assim sendo, no caso de estudo, o termo higrógrafo foi colocado na sala de ensaios, em local onde pudesse permanecer imóvel, de modo a garantir a homogeneização dos resultados daí retirados.

O período definido para análise com o termo higrógrafo foi de 07 de Abril de 2010 a 20 de Maio de 2010. Surge de imediato a questão relativamente ao motivo da escolha deste intervalo de tempo.

Uma vez que os dados retirados com este equipamento têm como único objetivo fazer uma comparação entre os valores registados e os utilizados na simulação com o *Design Builder*, o período escolhido pode ser qualquer um desde que posteriormente se defina a simulação no programa para o mesmo intervalo de tempo, de modo a tornar possível a comparação dos resultados.

O Departamento de Física da Universidade de Aveiro regista dados climáticos através da sua estação meteorológica. Foram solicitados a este Departamento os dados climáticos correspondentes ao intervalo de tempo desejado.

É de notar que este registo não é feito junto da Casa de Chá, mas sim a junto ao Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Assim sendo, os valores esperados para a temperatura serão aproximadamente análogos aos do local pretendido, ao invés dos esperados para a humidade relativa, uma vez que a Casa de Chá se encontra num local com bastante vegetação envolvente o que interfere bastante com os valores desta variável.

De seguida são apresentados esses resultados de forma gráfica de modo a facilitar a sua análise.

4.1.1. Intervalo entre 07 de Abril e 20 de Maio

Na Figura 4.1 pode constatar-se que no interior da sala de ensaio, durante o período entre 07 de Abril e 20 de Maio, houve uma variação de temperatura entre os 14,25°C e os 29,06°C encontrando-se a média das temperaturas nos 19,51°C.

Da Figura 4.1 é possível também fazer-se a leitura da variação da temperatura exterior. Assim sendo, a temperatura exterior no período entre 7 de Abril e 20 de Maio oscilou entre os 8,30°C e os 31,30°C, fixando a sua média nos 15,91°C.

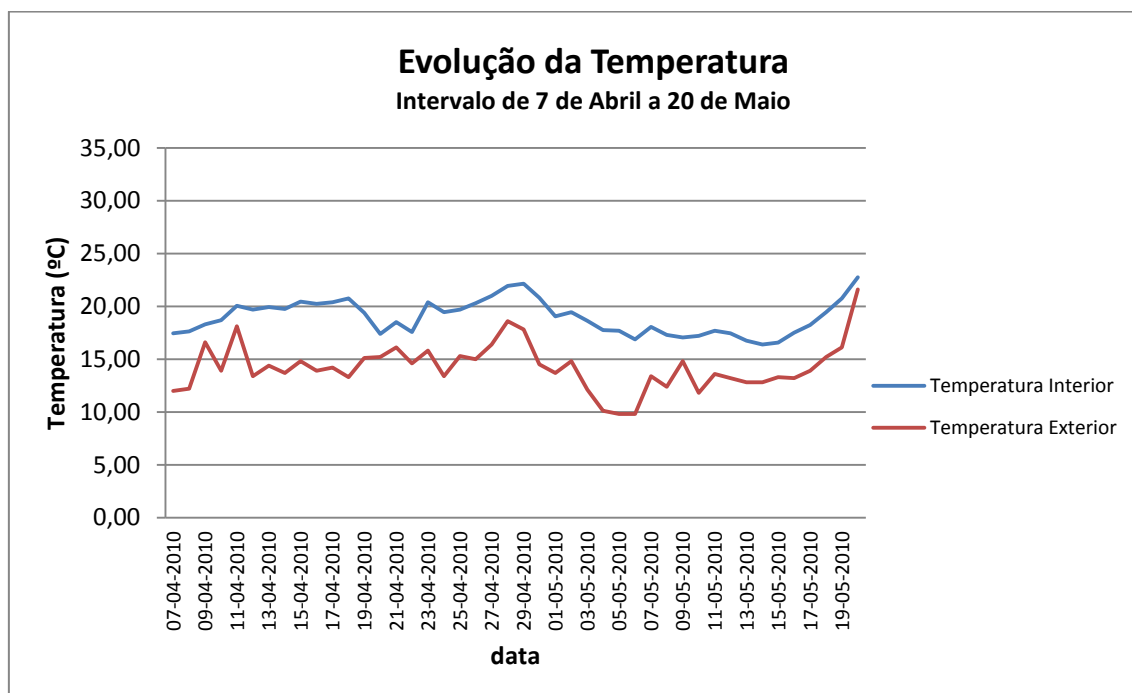


Figura 4.1 - Evolução da Temperatura entre 07 de Abril e 20 de Maio

Quanto à Humidade Relativa interior, esta variou entre os 41,75% e os 85,81%, encontrando-se a média nos 72,36%, enquanto que a humidade relativa exterior variou entre os 22% e os 94%, tendo como média o valor de 71,25%, como apresentado na Figura 4.2.

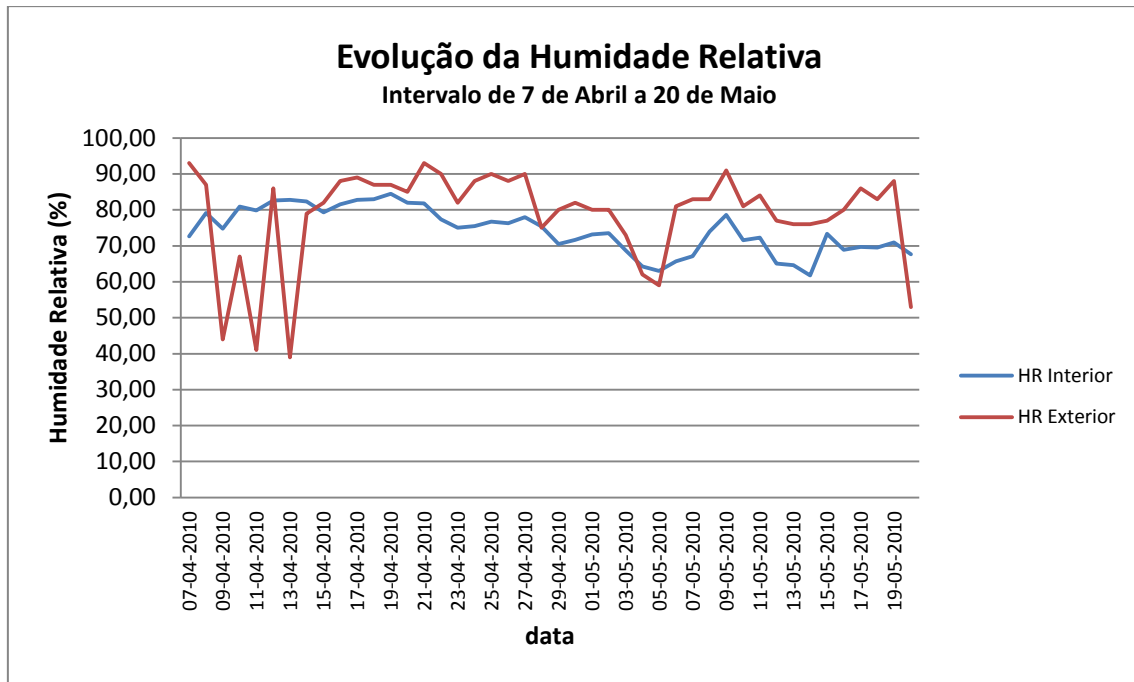


Figura 4.2 - Evolução da Humidade Relativa entre 07 de Abril e 20 de Maio

Analisando estes dados pode observar-se que durante o intervalo observado, a temperatura no interior do edifício foi sempre superior à temperatura exterior, como seria de esperar. A curva da humidade relativa interior encontrou-se maioritariamente abaixo da curva exterior, como esperado. Apesar de se evidenciarem variações da humidade relativa exterior muito grandes, a diferença entre as humidades relativas médias interiores e exteriores foi de apenas 1,11%. Estes resultados encontram-se munidos de alguma imprecisão, como referido, uma vez que a humidade relativa exterior registada não corresponde à humidade relativa no exterior do edifício, sem descurar o facto de que a sala onde foi colocado o termo higrógrafo apresentava um vidro partido durante o registo dos dados, o que dificulta a previsão da renovação horária e, consequentemente, os valores da humidade relativa.

É importante referir que todos estes dados se encontram influenciados por fatores humanos tais como a atividade e a ocupação diária da sala de ensaios.

4.1.2. Dia mais frio (12 de Maio)

No dia mais frio, 12 de Maio, a temperatura interior oscilou entre os 16,06°C e os 19°C, fixando a média nos 17,37°C, enquanto a temperatura exterior variou entre os 12,10°C e os 14,70°C, com média nos 13,45°C (Figura 4.3).

Destes registos pode verificar-se que os valores médios da temperatura interior e da temperatura exterior diferiram de 3,92°C.

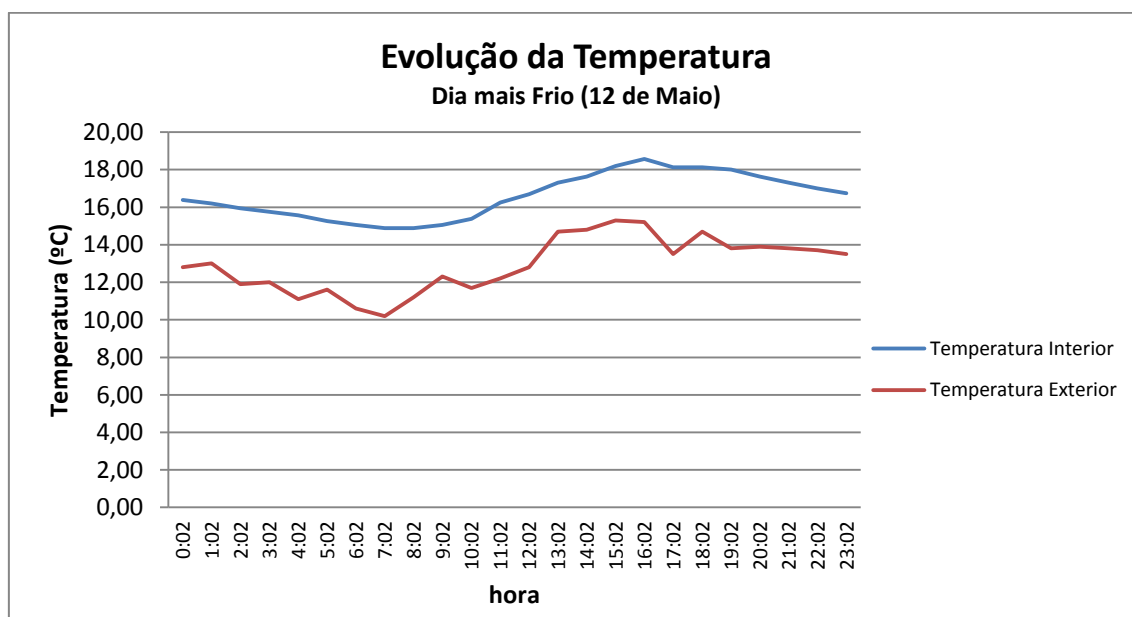


Figura 4.3 - Evolução da Temperatura no dia mais frio (12 de Maio)

Quanto à humidade relativa interior, esta variou entre os 56,19% e os 67,94%, fixando a média nos 62,75%. A humidade relativa exterior oscilou entre os 64% e os 80%, fixando a média nos 72,13%.

Relativamente ao dia mais frio do intervalo, pode observar-se que a humidade relativa interior foi 9,18% inferior à humidade relativa exterior (Figura 4.4).

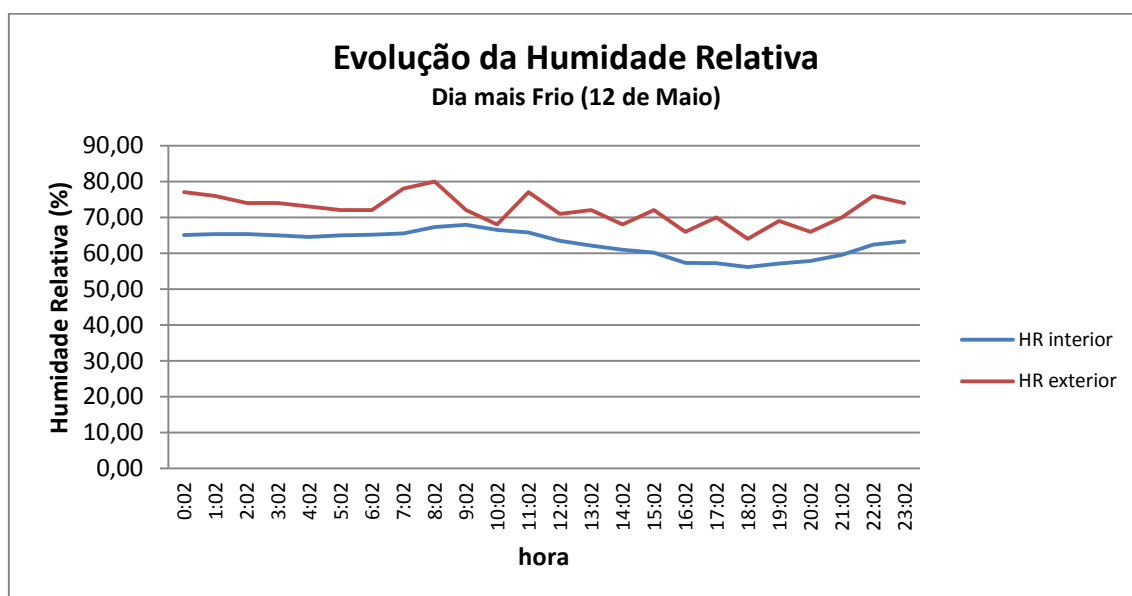


Figura 4.4 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais frio (12 de Maio)

4.1.3. Dia mais quente (20 de Maio)

No dia mais quente, 20 de Maio, a temperatura interior oscilou entre os 21,63°C e os 29,06°C, fixando a média nos 24,85°C. A temperatura exterior variou entre os 20,60°C e os 31,30°C, com média nos 24,63°C.

Desta forma, as temperaturas médias interiores e exteriores diferiram de 0,22°C. Este valor coincide com o esperado uma vez que a sala em estudo apresenta 3 grandes vãos envidraçados voltados a poente, o que favorece o aquecimento da sala no final da tarde. Na Figura 4.5 pode observar-se um fator de atraso realista inerente a este tipo de comportamento, justificado pelo aquecimento exterior por volta das 13 horas e consequente aquecimento interior sensivelmente duas horas depois. O amortecimento constatado, igual a 2,24°C, é previsivelmente muito baixo uma vez que, tratando-se de uma casa antiga, esta apresenta um isolamento térmico muito baixo.

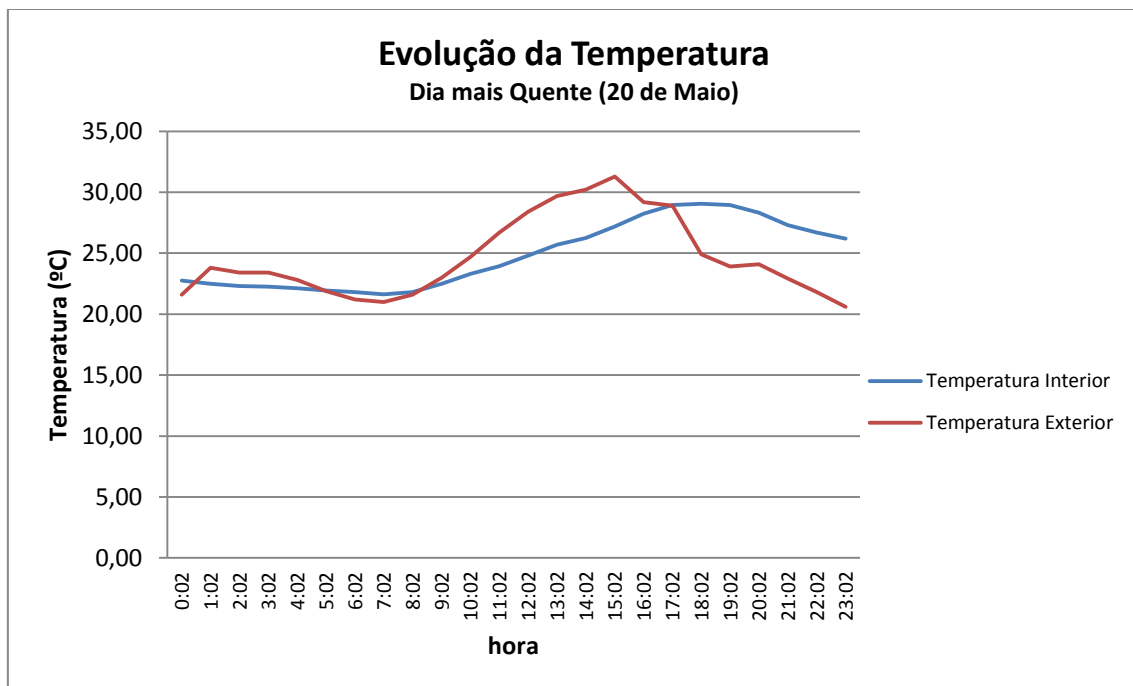


Figura 4.5 - Evolução da Temperatura no dia mais quente (20 de Maio)

Relativamente à humidade relativa interior, esta variou entre os 41,75% e os 68,06%, fixando a média nos 53,03%. A humidade relativa exterior oscilou entre os 22% e os 72%, fixando a média nos 41,25%.

No dia mais quente, a humidade relativa média exterior apresentou um decréscimo de 11,78% relativamente à humidade média interior (Figura 4.6).

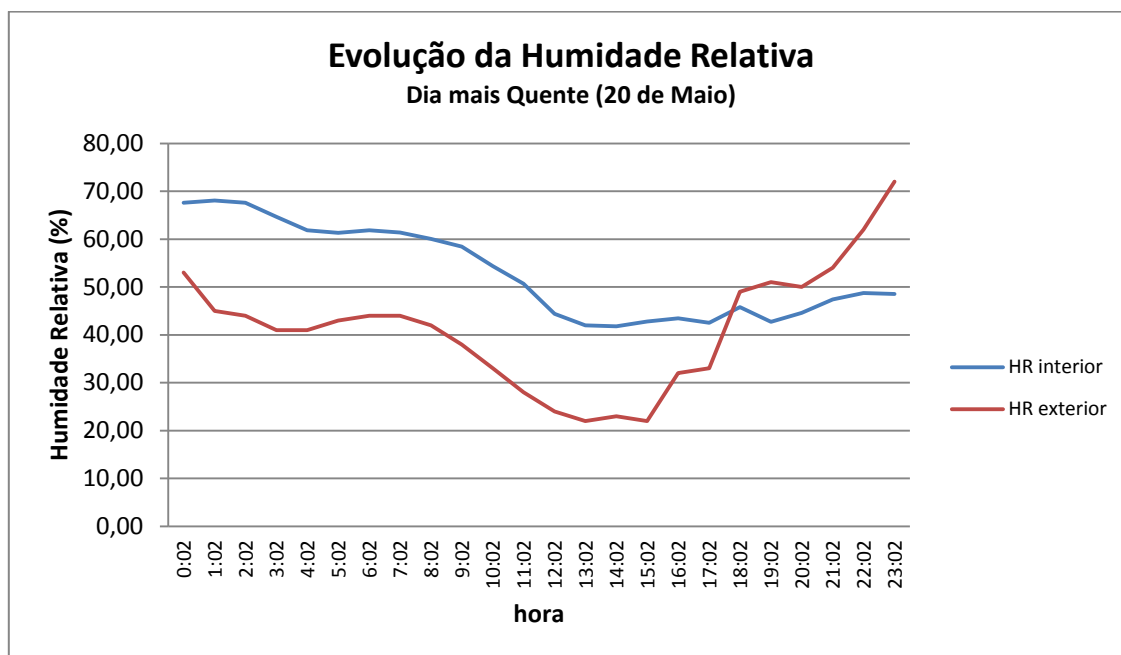


Figura 4.6 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais quente (20 de Maio)

4.2. Confronto entre os resultados da simulação com o Design Builder e os dados registados com o Termo Higrógrafo

Como referido anteriormente, é necessário fazer-se uma análise dinâmica do comportamento térmico do edifício recorrendo ao programa *Design Builder*, no mesmo intervalo de tempo e na mesma zona em que foi feito o registo de dados com o termo higrógrafo, de modo a garantir que o *software* faz uma análise próxima do real e que, nesse caso, se valida a sua utilização para a simulação do comportamento térmico do caso de estudo antes e após a reabilitação térmica do mesmo.

O modelo utilizado sofreu várias fases de calibração até que os resultados obtidos se aproximassem dos resultados registados com o termo higrógrafo. Foi definida uma tolerância de 10% para os valores da temperatura. Relativamente aos valores esperados para a humidade relativa, é difícil de prever a simulação do programa, uma vez que existem várias variáveis que este não considera. Destas variáveis salienta-se a já referida questão da zona onde foram registados os valores para a humidade relativa. A casa de chá encontra-se no Parque de Aveiro, sendo este um local com muita vegetação e consequentemente muito mais húmido do que a zona onde foram registados estes

valores, junto à Universidade de Aveiro. A existência de um lago próximo da Casa de Chá interfere também com estes valores.

Uma vez que o programa não considera estes aspetos, foram feitos diversos ajustes ao modelo no que diz respeito a valores da renovação horária, *Schedule* de ocupação e utilização, cargas internas (iluminação e equipamento) e criação de obstáculos representativos da vegetação exterior.

Apresentam-se de seguida os resultados da simulação com o modelo calibrado.

4.2.1. Intervalo entre 07 de Abril e 20 de Maio

Da análise dos resultados produzidos pelo *Design Builder*, pode observar-se que no interior da sala de ensaio, durante o período entre 07 de Abril e 20 de Maio, houve uma variação de temperatura entre os 14,59°C e os 25,57°C encontrando-se a média das temperaturas nos 20,98°C (Figura 4.7).

Assim sendo, observa-se que neste intervalo a diferença entre a temperatura média interior calculada pelo programa e a temperatura média interior registada pelo termo higrógrafo é igual a 1,47°C. Este valor traduz-se em 9,92% da variação máxima da temperatura registada com o termo higrógrafo. Assim sendo, considera-se que a calibração do modelo originou uma análise do comportamento térmico feita pelo programa, muito aproximada da real.

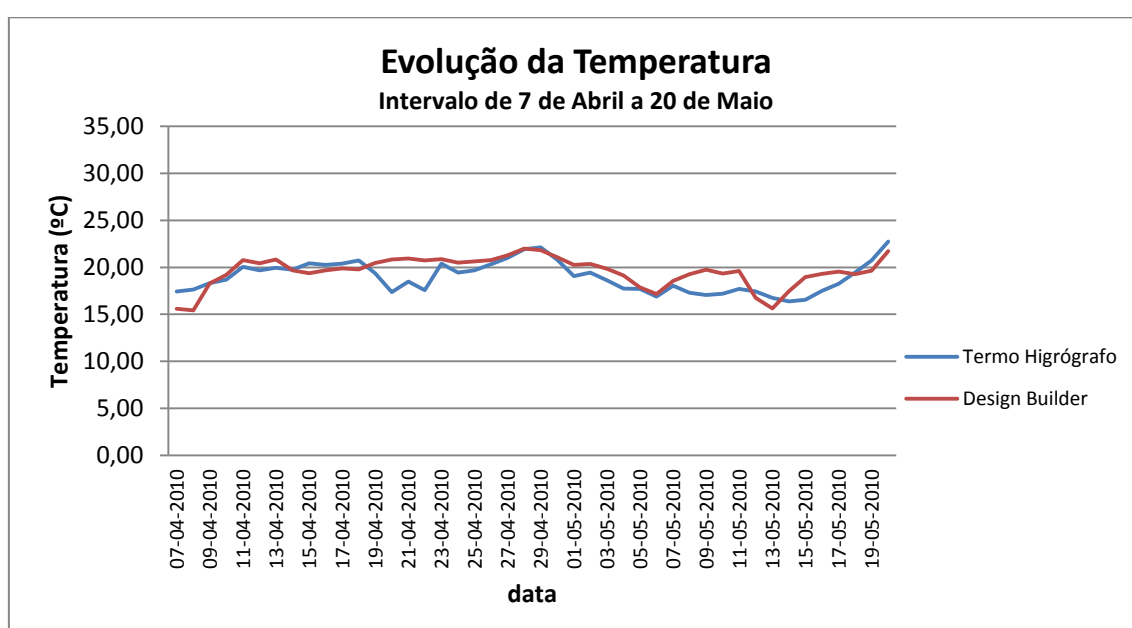


Figura 4.7 - Evolução da Temperatura entre 07 de Abril e 20 de Maio

Quanto à variação da humidade relativa calculada pelo programa, esta apresentou um valor máximo igual 21,16% e um valor mínimo igual a 74,93%, encontrando-se a média nos 53,05% (Figura 4.8).

A humidade relativa média calculada pelo *Design Builder* para este intervalo de tempo distanciou-se de 19,31% da registada com o termo higrógrafo, representando 43,8% da variação máxima da humidade relativa registada com o termo higrógrafo. Este valor é bastante discrepante uma vez que, como referido anteriormente, os dados da estação meteorológica do Departamento de Física da Universidade de Aveiro referentes à humidade relativa não correspondem exatamente aos valores desta variável no exterior do edifício, acrescendo aos fatores acima mencionados relativos à existência de um lago na periferia da Casa de Chá, assim como de toda a vegetação existente.

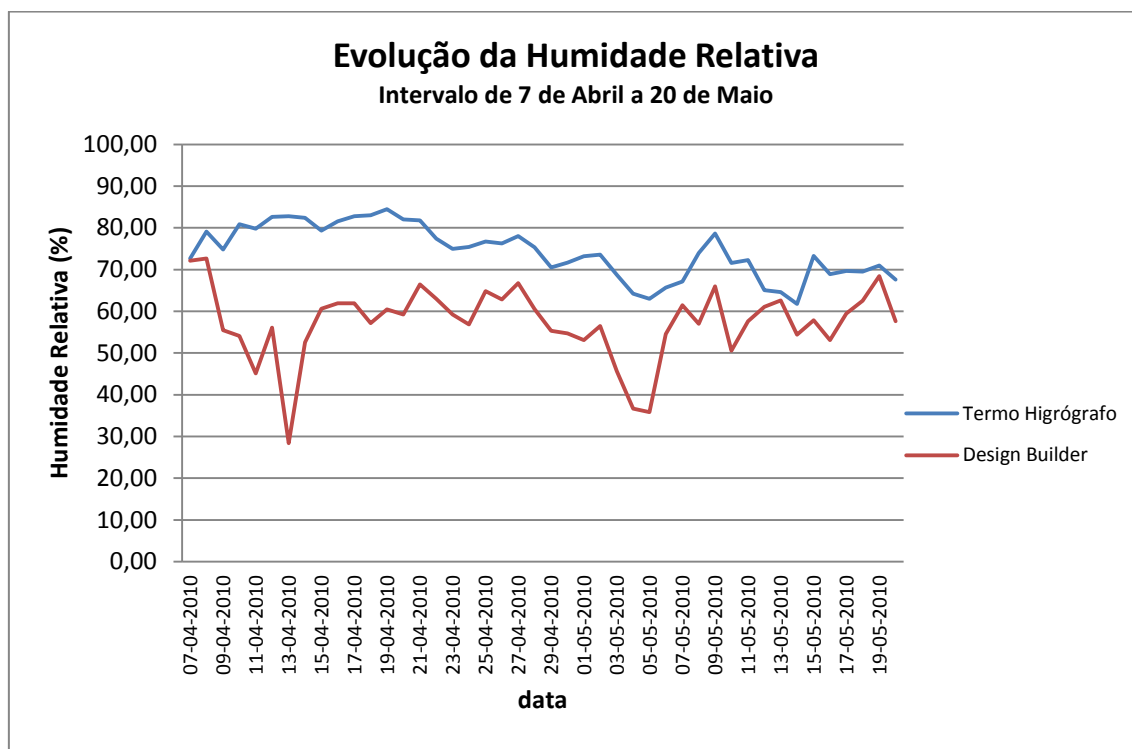


Figura 4.8 - Evolução da Humidade Relativa entre 07 de Abril e 20 de Maio

4.2.2. Dia mais frio (12 de Maio)

Da simulação feita para o dia mais frio do intervalo, observa-se que a temperatura interior variou entre os 15,75°C e os 16,88°C fixando a média nos 16,34°C (Figura 4.9).

Neste dia, a diferença entre os valores médios da temperatura registada pelos dois métodos foi de 1,03°C, valor que reitera a boa calibração efetuada. A discrepância evidenciada entre o período da tarde prende-se com o fator humano impossível de prever com o programa. Este deve-se essencialmente à possível existência de equipamentos de aquecimento individuais, à abertura inopinada de janelas e portas, dados que o programa, apesar de fazer uma aproximação desses comportamentos, não consegue definir com exatidão.

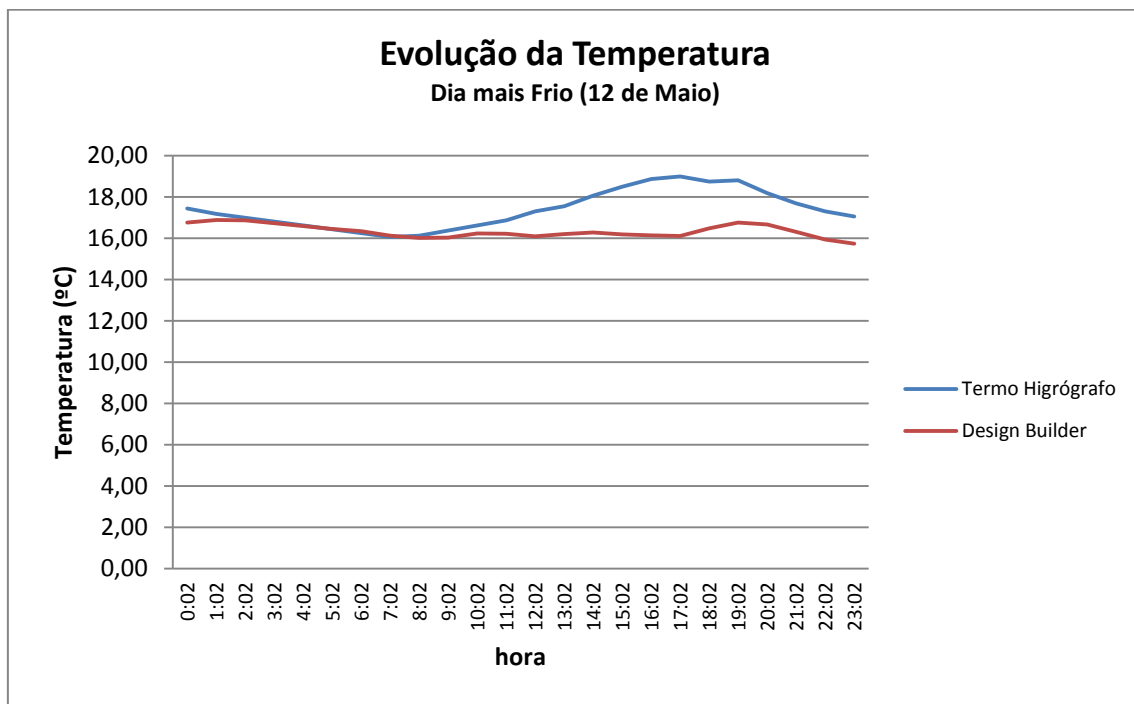


Figura 4.9 - Evolução da Temperatura no dia mais frio (12 de Maio)

A humidade relativa variou entre os 57,45% e os 62,31%, fixando a média no valor de 59,91% (Figura 4.10).

Para esse dia, os valores médios da humidade relativa diferiram de 2,84%. Neste caso, o valor da humidade relativa calculado pelo programa aproxima-se bastante do valor registado com o termo higrógrafo.

Da mesma forma que na evolução da temperatura, a discrepância dos resultados deve-se a fatores humanos relacionados fundamentalmente com os cuidados de ventilação mínimos existentes uma vez que nos dias mais frios, as janelas se encontram, tendencialmente, fechadas durante todo o dia.

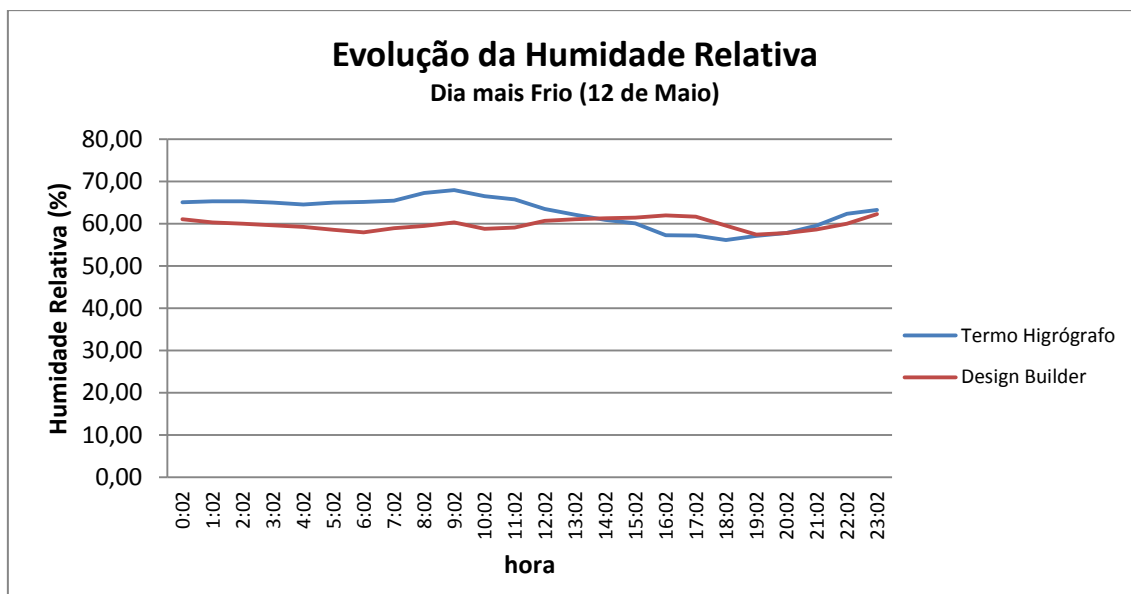


Figura 4.10 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais frio (12 de Maio)

4.2.3. Dia mais quente (20 de Maio)

No dia mais quente, o programa calculou uma variação de temperatura entre os 21,51°C e os 24,39°C, com média nos 23,17°C (Figura 4.11).

Neste dia, a diferença entre os valores médios da temperatura registada pelos dois métodos foi de 1,68°C.

De forma idêntica ao que se constatou para o dia mais frio, a temperatura interior calculada pelo *Design Builder*, no período da tarde distanciou-se da temperatura registada pelo termo higrógrafo. Esta discrepância deve-se novamente a aspetos humanos da utilização da sala de ensaios. Uma vez que o programa permite criar um *template* para a utilização, este foi criado considerando a ocorrência dos ensaios na sala em estudo. No entanto, o programa apenas permite inserir valores referentes à densidade de pessoas para todos os dias do intervalo selecionado, logo, não é possível garantir que o *Design Builder* considera a variação do número de pessoas que se encontram naquele espaço de uma forma realista.

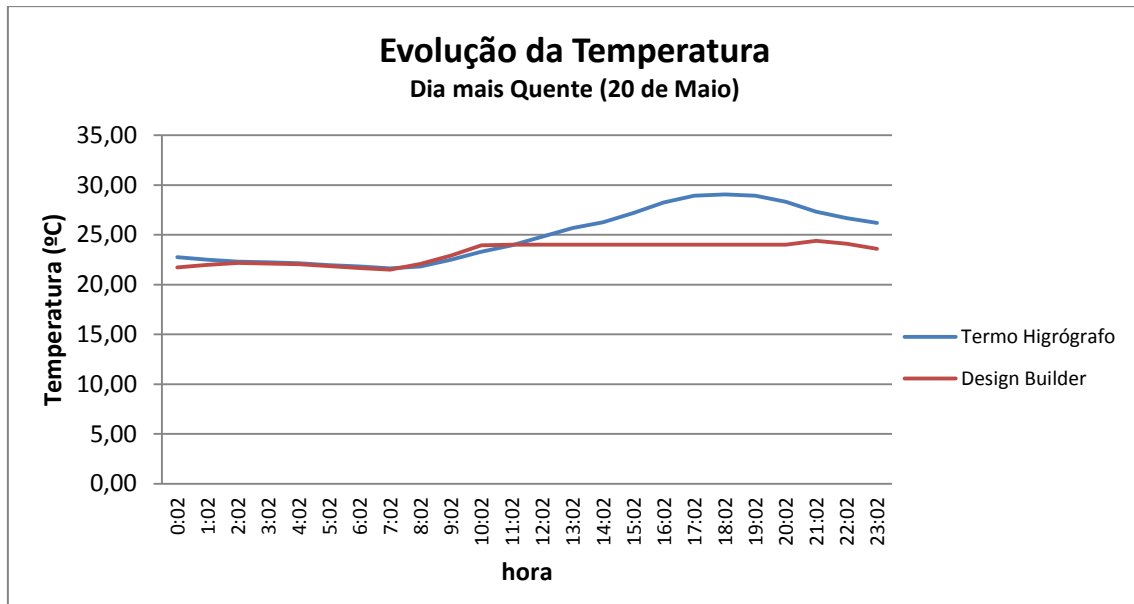


Figura 4.11 - Evolução da Temperatura no dia mais quente (20 de Maio)

Quanto à humidade relativa, para este dia, os valores oscilaram entre os 37,71% e os 57,62%, fixando a média nos 45,69% (Figura 4.12). A diferença entre os valores médios da humidade relativa calculada pelo programa e os valores registados com o termo higrógrafo foi de 7,34%.

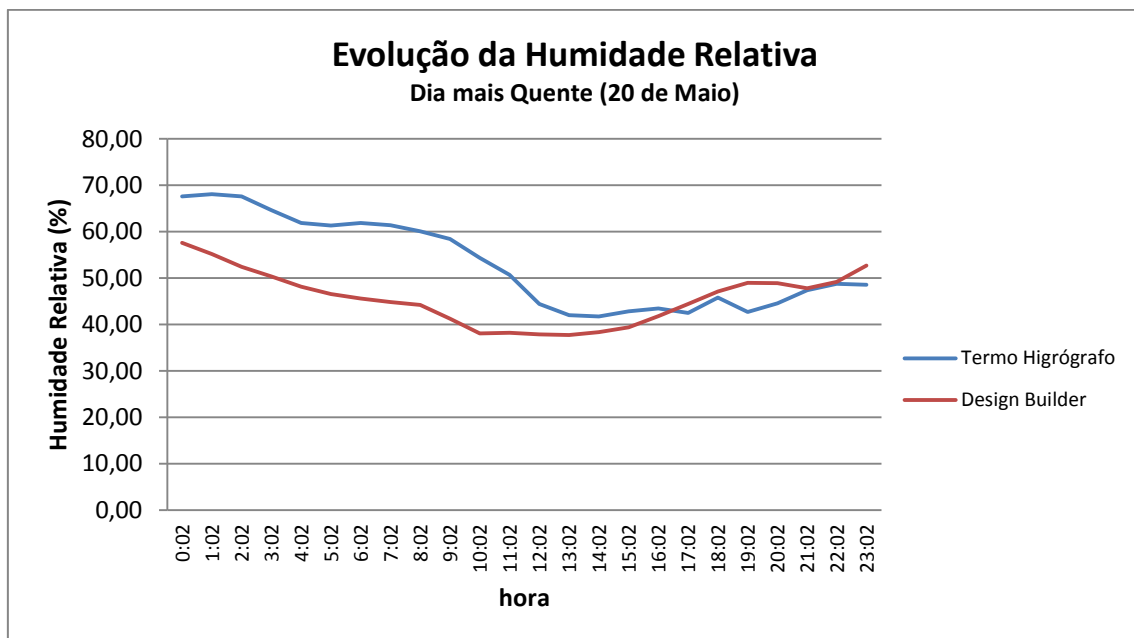


Figura 4.12 - Evolução da Humidade Relativa no dia mais quente (20 de Maio)

Feita a análise dos resultados calculados pelos dois métodos pode afirmar-se que a calibração do modelo forçou o programa a gerar uma simulação bastante aproximada do

comportamento real do edifício. Assim sendo, é viável utilizar-se esta ferramenta para simular o comportamento térmico do caso de estudo.

4.3. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder para as condições atuais do edifício

Uma vez que se pode considerar a utilização do programa *Design Builder* para a simulação do comportamento térmico do caso de estudo, interessa agora analisar o comportamento do edifício para o período de um ano, atendendo às condições atuais do mesmo. Desta forma, poderão comparar-se os resultados da simulação antes e após a reabilitação térmica do caso de estudo.

4.3.1. Ano inteiro (01 de Janeiro a 31 de Dezembro)

Numa primeira análise, da leitura direta do gráfico da Figura 4.13, pode observar-se que a temperatura no interior do edifício é superior à temperatura no exterior do mesmo durante todo o ano. Esta variou entre os 13,68°C e os 29,68°C, enquanto que a exterior oscilou entre os 3,78°C e os 29,27°C. Desta forma, a temperatura média interior é 6,55°C superior à temperatura média exterior.

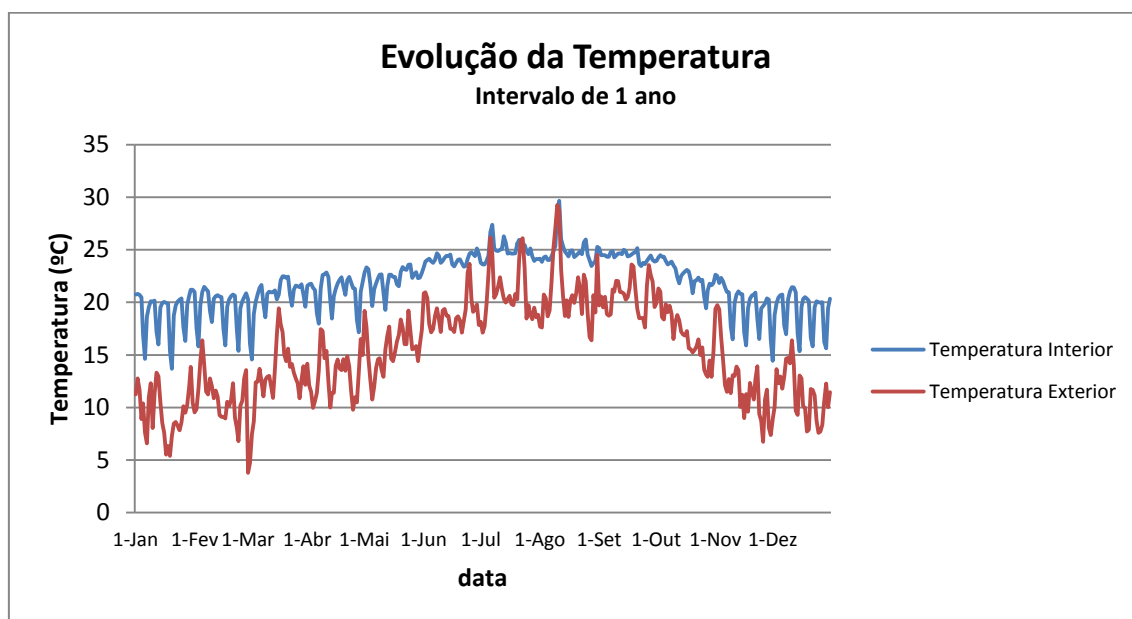


Figura 4.13 - Evolução anual da temperatura exterior e interior

A humidade relativa atingiu valores máximos e mínimos iguais a 72,53% e 26,56%, respetivamente. A humidade relativa média fixou-se no valor de 52,29% (Figura 4.14).

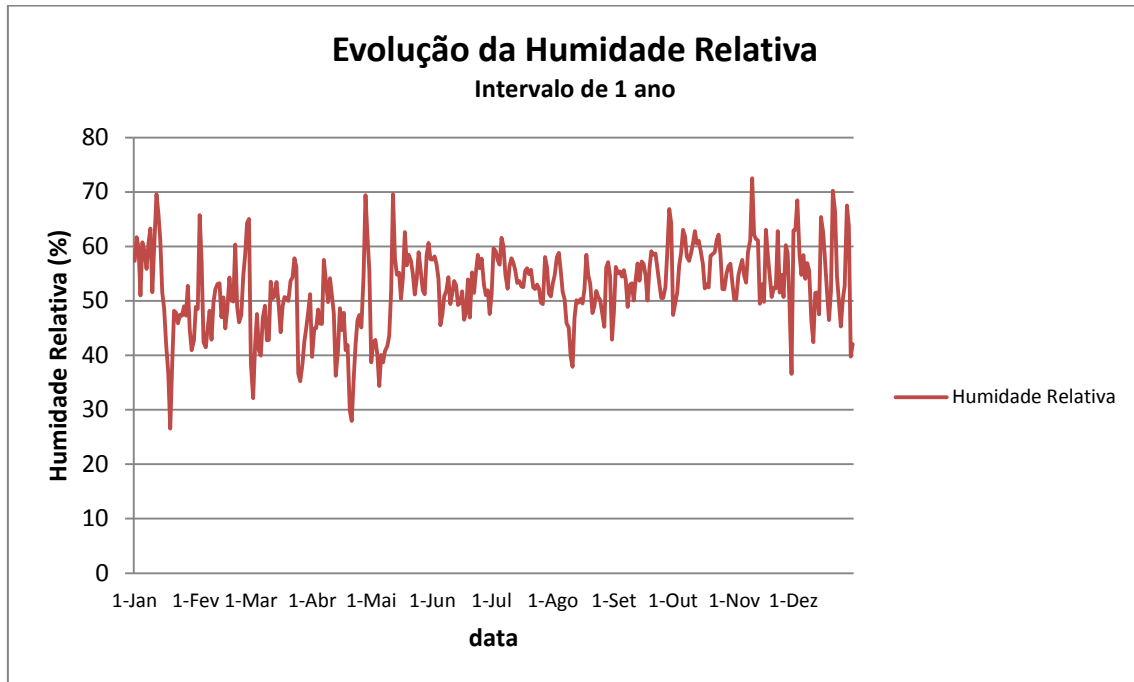


Figura 4.14 - Evolução anual da Humidade Relativa

4.3.2. Dia mais frio (20 de Janeiro)

Analogamente à observação relativa ao ano inteiro, no caso do dia mais frio, que ocorreu a 20 de Janeiro, pode constatar-se que a temperatura no interior do edifício se encontra também sempre acima da temperatura exterior (Figura 4.15). Esta oscilou entre os 12,06°C e os 14,29°C, enquanto que a temperatura exterior variou entre os 3°C e os 12,8°C. Desta forma, as temperaturas médias interiores e exteriores distanciaram-se de 5,66°C.

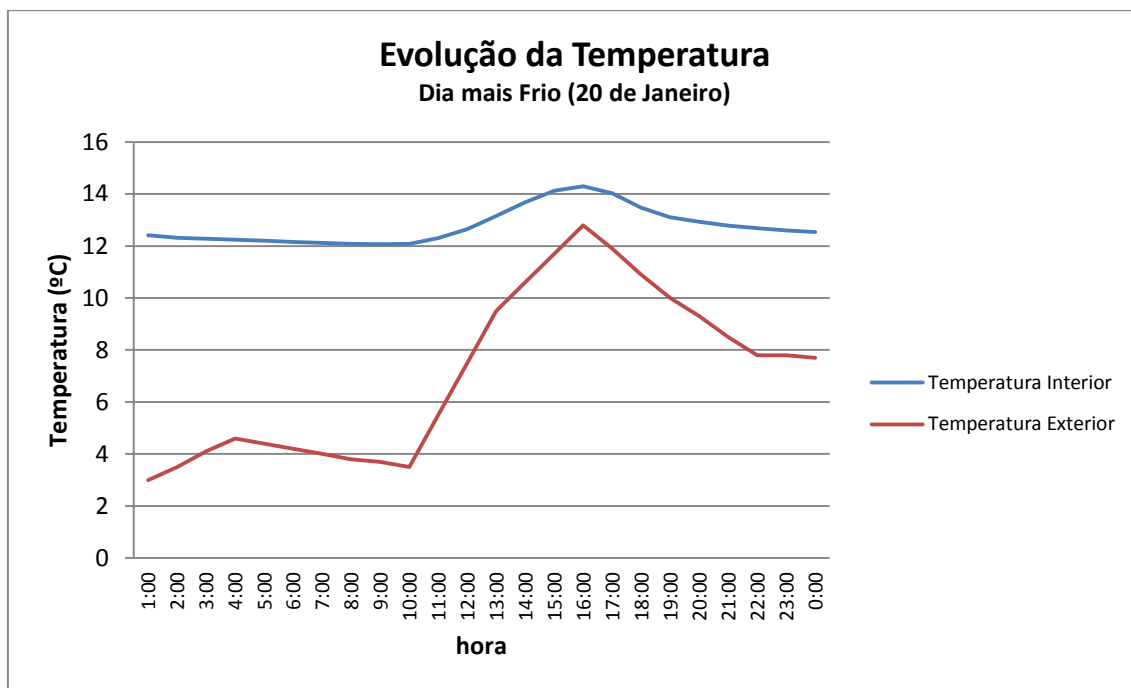


Figura 4.15 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais frio (20 de Janeiro)

Para este dia, observou-se uma variação da humidade relativa entre os 51,61% e os 55,71%, fixando a sua média nos 53,12% (Figura 4.16).

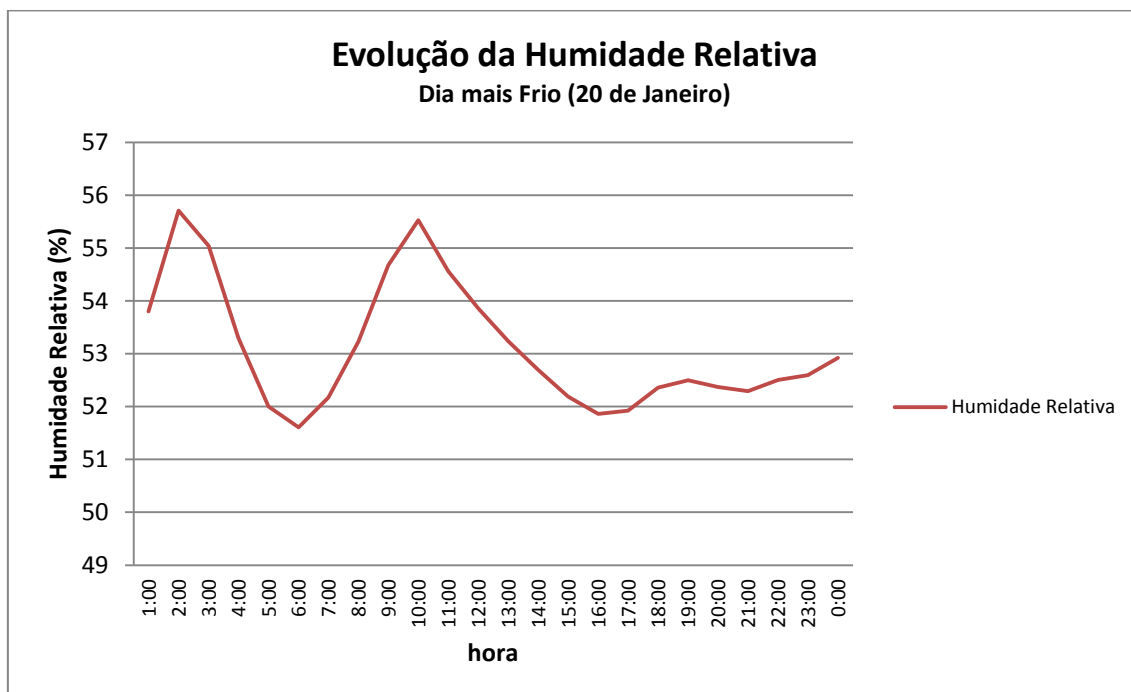


Figura 4.16 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais frio (20 de Janeiro)

4.3.3. Dia mais quente (11 de Agosto)

Da análise do gráfico da Figura 4.17, pode concluir-se que entre as 11 horas e as 19 horas, a temperatura no interior do edifício se encontra abaixo da temperatura no exterior do mesmo.

A temperatura interior variou entre os 29,55°C e os 32,85°C, enquanto que a temperatura exterior variou entre os 21,8°C e os 36,7°C. Os valores da temperatura média interior e exterior diferiram de 2,14°C.

Uma vez que esta análise é feita para o dia mais quente do ano, estes valores serão, dessa forma, favoráveis ao conforto térmico no interior do edifício, apesar de ficarem novamente evidenciadas as fracas características do isolamento térmico existente, dado o baixo valor para o amortecimento.

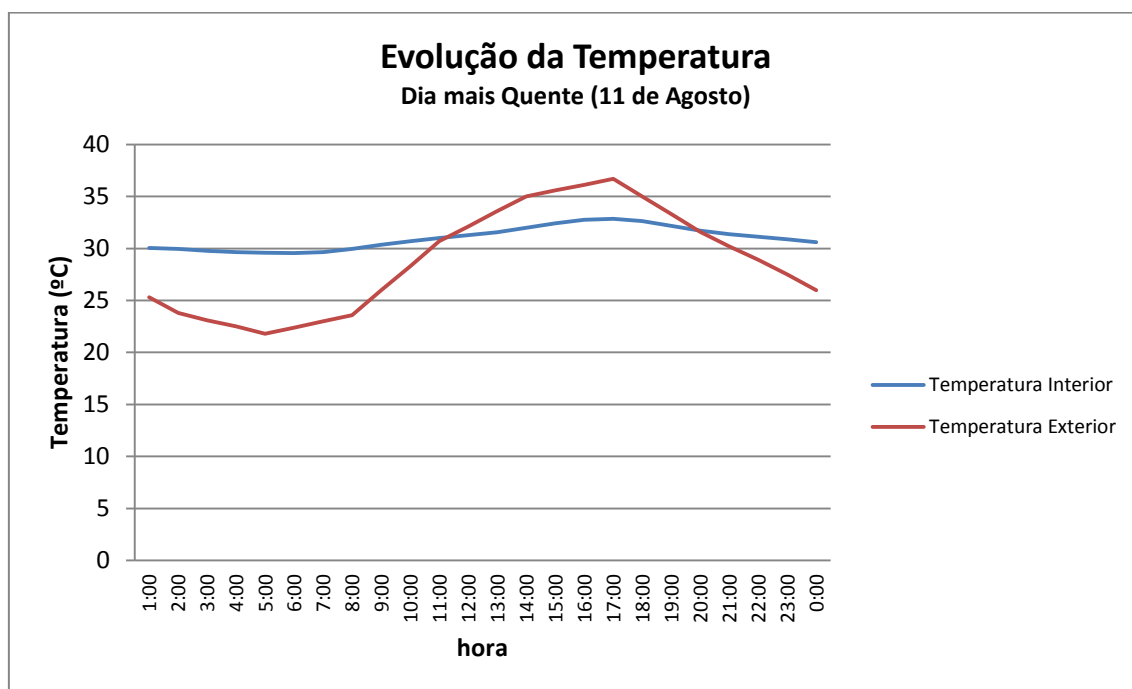


Figura 4.17 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais quente (11 de Agosto)

No dia mais quente do ano, a humidade relativa no interior do edifício variou entre os 31,68% e os 38,20%, encontrando-se o seu valor médio nos 34,98% (Figura 4.18).

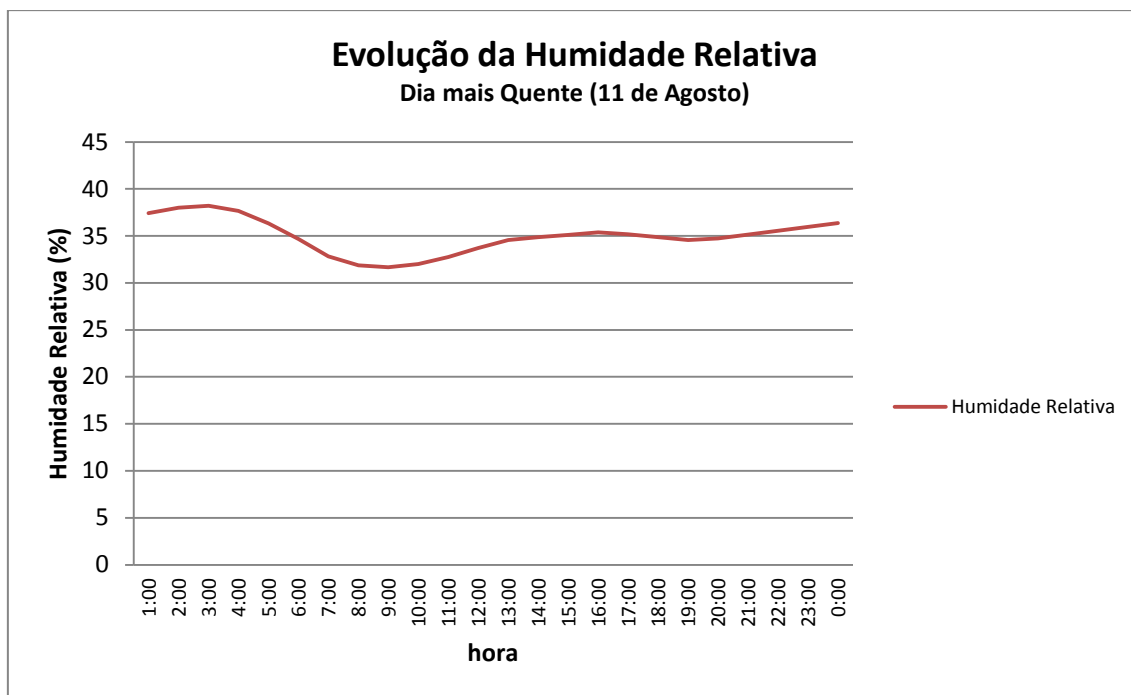


Figura 4.18 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais quente (11 de Agosto)

4.4. Apresentação das necessidades energéticas do edifício antes da reabilitação térmica

Tendo sido feita a análise dinâmica do comportamento térmico do edifício atendendo às condições atuais do mesmo, é agora altura de se apresentarem as suas necessidades energéticas durante o ano, onde é observável o comportamento do edifício para as duas estações, de aquecimento e de arrefecimento.

As necessidades de aquecimento representam a quantidade de energia necessária a fornecer a uma zona independente, por m² de área útil e por ano, para manter uma temperatura de 18°C, ou mais, durante a estação de aquecimento, de acordo com o método de cálculo do RCCTE [4].

É necessário verificar se o valor das necessidades de aquecimento calculadas para a solução projetada é inferior ao valor limite regulamentar. A verificação das necessidades de aquecimento pode ser feita de diversas maneiras consoante a área da zona independente em estudo.

Do mesmo modo, as necessidades de arrefecimento representam então a quantidade de energia a fornecer a uma determinada zona, de modo a manter uma temperatura igual ou inferior a 25°C.

Desta forma, analisando o gráfico da Figura 4.19, onde se encontram bem definidas as duas estações, de aquecimento e de arrefecimento, verifica-se que as necessidades de aquecimento (a vermelho) atingem o seu ponto máximo no dia 20 de Janeiro, onde o seu valor é fixado nos 353,82kWh. Este é efetivamente o dia em que haverá maior necessidade de aquecimento no interior do edifício. Contrariamente a este valor, a necessidade máxima de arrefecimento (a azul) foi atingida para o dia 11 de Agosto, igual a 389,07kWh.

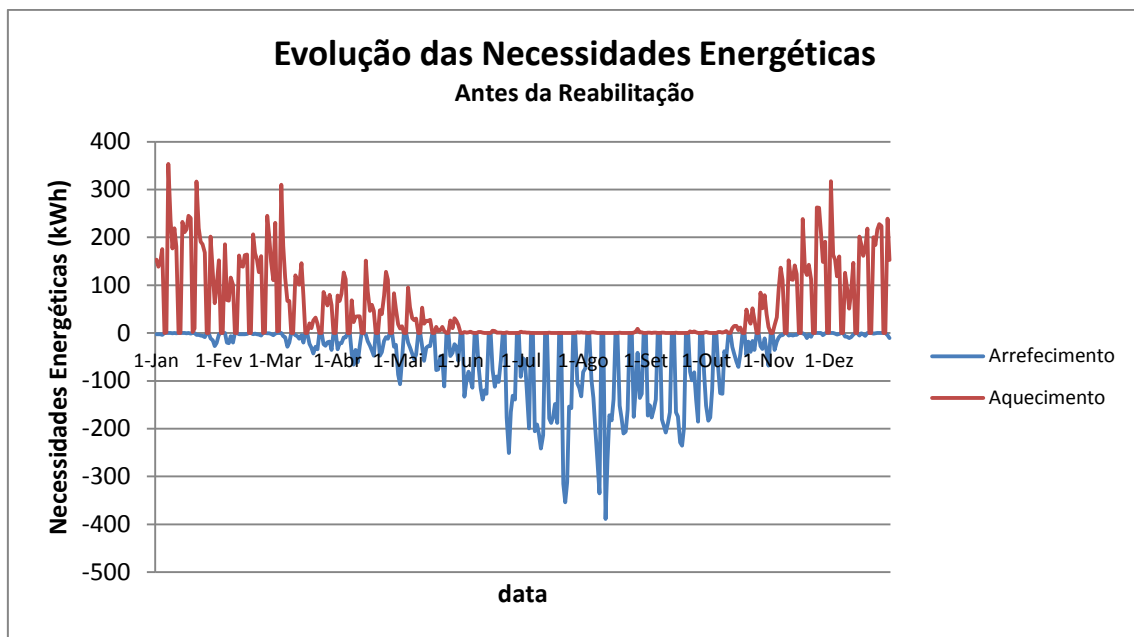


Figura 4.19 - Necessidades Energéticas antes da reabilitação térmica

4.5. Índice de Conforto Térmico de *Fanger*

Segundo Fanger [14], o conforto térmico é influenciado por diversas variáveis tais como a atividade desempenhada, o isolamento térmico das roupas utilizadas, a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a pressão parcial do vapor de água no ar ambiente.

Uma vez que todas estas variáveis são integradas na metodologia de cálculo do programa *Design Builder*, é possível extrair o valor calculado para o índice de conforto térmico de *Fanger*. Este índice é calculado a partir da equação formulada por *Fanger* com o objetivo de englobar a enorme variação das sensações térmicas relatada por voluntários após responderem a um questionário que indicava alternativas para os seus votos de preferência térmica. Desta expressão pode extrair-se o valor de PMV –

Predicted Mean Vote (voto médio estimado), tendo este sido normalizado posteriormente pela ISO7730 [15].

Assim sendo, *Fanger* [14] associa a cada valor do índice de conforto térmico, um nível de sensação térmica relatada (Figura 4.20).

PMV	Sensação Térmica
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	NEUTRO
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Figura 4.20 - Índices PMV de *Fanger* [14]

O mesmo autor descreve o conceito de “*Neutralidade Térmica*” como sendo a condição na qual determinado indivíduo não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente em seu redor [14].

A Figura 4.21 apresenta a evolução do índice de conforto de *Fanger* na Casa de Chá, durante o período de um ano, calculado pelo *Design Builder*.

Da sua análise pode observar-se que este índice varia entre o valor mínimo de -3,08 e máximo de 1,26, fixando a sua média no valor de -0,78.

Analisando estes dados poderia facilmente concluir-se que se tratava de um ambiente “ligeiramente frio” durante todo o ano. No entanto, é necessário estudar a evolução deste índice no dia mais frio do ano e no dia mais quente do ano, de forma a caracterizar corretamente o seu ambiente.

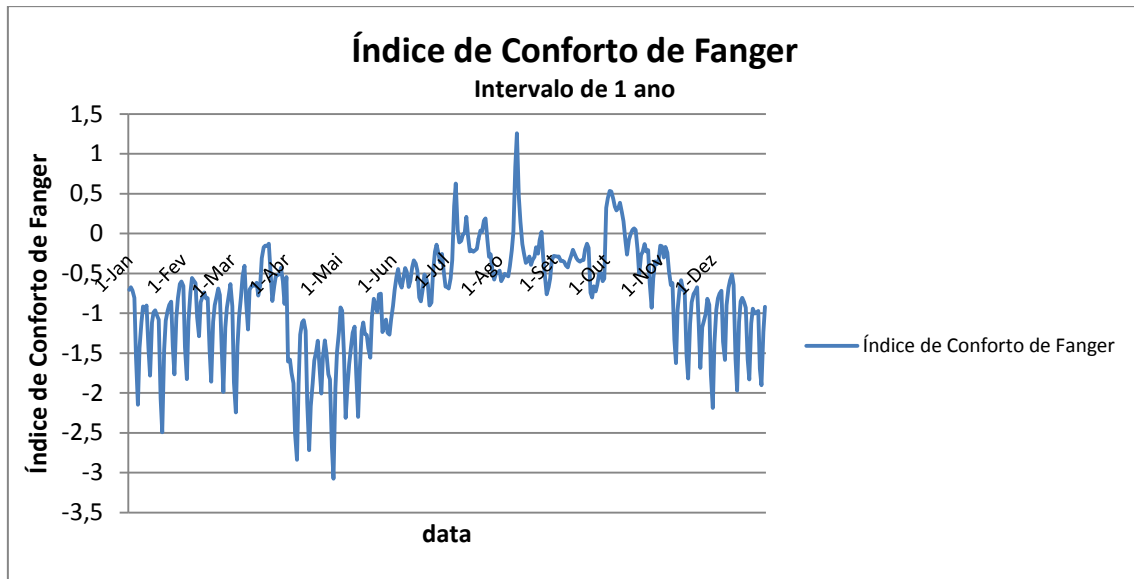


Figura 4.21 - Evolução do índice de conforto de *Fanger*

Assim sendo, apresenta-se na Figura 4.22 a evolução do índice de conforto para o dia mais frio.

Neste dia, os valores do índice de conforto térmico oscilaram entre -2,90 e -2,36, fixando a sua média no valor de -2,72.

Com base na Figura 4.20, pode concluir-se que no dia mais frio do intervalo selecionado (1 ano), o ambiente interior na Casa de Chá é “Muito Frio”. Esta conclusão é justificada pelo fraco isolamento térmico presente na casa.

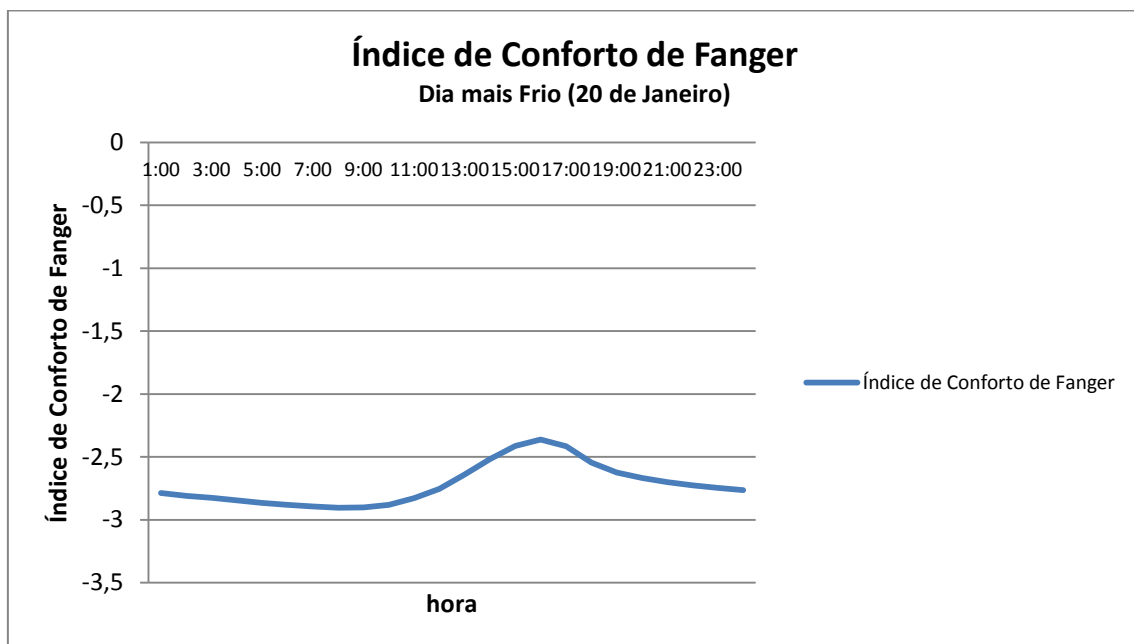


Figura 4.22 - Evolução do índice de conforto de *Fanger* para o dia mais frio (20 de Janeiro)

No dia mais quente do ano, os valores do índice de conforto variaram entre 1,25 e 2,34, fixando o valor médio de 1,72 (Figura 4.23). Destes resultados pode afirmar-se que no dia mais quente do ano, a Casa de Chá apresenta um ambiente “Quente”.

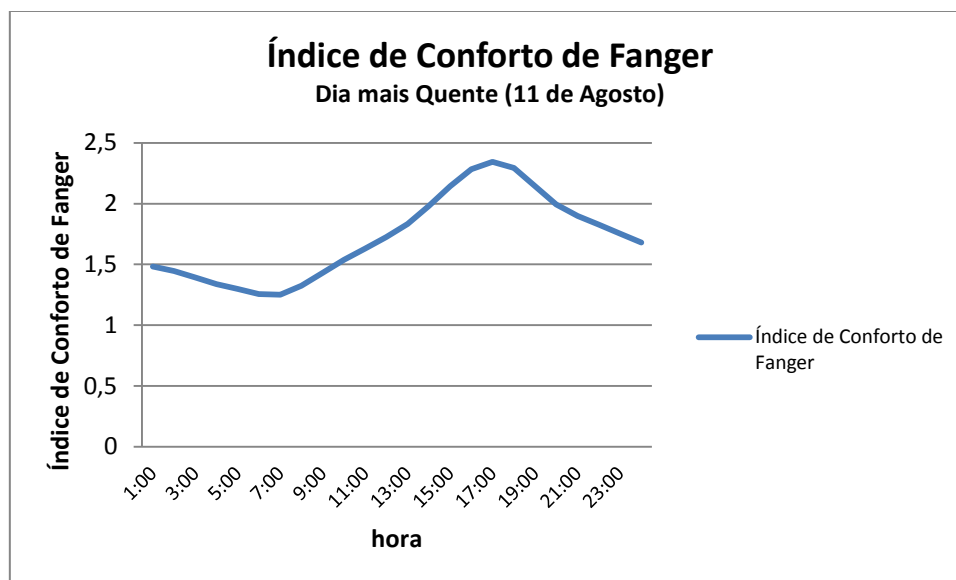


Figura 4.23 - Evolução do índice de conforto de Fanger para o dia mais quente (11 de Agosto)

Assim sendo, o caso de estudo apresenta um ambiente “Muito Frio” no dia mais frio do ano e um ambiente “Quente” no dia mais quente do ano.

No capítulo seguinte apresentar-se-ão algumas propostas de reabilitação térmica da Casa de Chá, de forma a aumentar o seu conforto térmico, ou seja, a atingir um índice de conforto térmico o mais próximo de zero possível, de modo a garantir o seu ambiente “Neutro”.

CAPÍTULO 5 – REABILITAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

- 5.1. Reabilitação térmica de paredes exteriores
- 5.2. Melhoria das condições térmicas de pavimentos
- 5.3. Reabilitação térmica de coberturas
- 5.4. Hipóteses de reabilitação térmica do edifício em estudo

5. REABILITAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

Neste capítulo apresentar-se-ão algumas hipóteses de reabilitação térmica, tendo em vista o objetivo de melhorar o comportamento térmico do edifício em estudo.

5.1. Reabilitação Térmica de Paredes Exteriores

Uma vez que a envolvente exterior desempenha um papel muito importante no balanço energético devido aos elementos construtivos que a constituem, cor, espessura e material constituinte, existe a necessidade de estudar a melhor solução para esta envolvente.

A cor escolhida para a envolvente externa desempenha um papel fundamental no balanço energético uma vez que as cores claras, que possuem valores baixos de coeficiente de absorção solar, devem ser utilizadas maioritariamente em edifícios localizados em zonas com um clima ameno e quente e as cores escuras, com coeficientes de absorção solar elevados, devem ser utilizadas em zonas com um clima maioritariamente frio.

Quando o objetivo é reabilitar termicamente um edifício, tem que se analisar as soluções construtivas presentes no mesmo, nomeadamente no que se refere às paredes exteriores, uma vez que se encontram em contacto com o meio ambiente exterior.

O facto da parede exterior possuir uma grande espessura não garante que exista boa qualidade térmica no interior da mesma. O material que constitui essa mesma parede determina a sua resistência térmica de uma forma bastante significativa.

Uma vez que no caso em estudo (Casa de Chá do Parque Infante D. Pedro situado em Aveiro), o edifício é uma construção antiga, seria comprometedor colocar a hipótese de alterar os materiais existentes, bem como as características arquitetónicas das fachadas. Daqui, conclui-se que a melhoria do comportamento térmico do edifício, deve ser feita a partir do interior por razões de ordem arquitetónica do edifício em estudo.

5.1.1. Reforço com isolamento pelo interior

A aplicação de isolamento térmico no interior do edifício apresenta à partida algumas desvantagens. Entre elas encontra-se a diminuição do espaço útil interior e da inércia

térmica, assim como o facto da não eliminação de todas as pontes térmicas. No entanto, este tipo de solução é vantajosa na medida em que permite reabilitar isoladamente, cada zona do edifício, para além de que invalida as dificuldades relacionadas com a autenticidade e compatibilização de vãos inerentes à reabilitação exterior da fachada. Dentro deste tipo de reabilitação existem algumas soluções que se referem de seguida.

5.1.1.1. Painéis Isolantes Pré-fabricados

A grande vantagem associada a este tipo de solução reside na facilidade de aplicação uma vez que, como o próprio nome indica, são elementos pré-fabricados. Estes painéis são adaptados às dimensões necessárias e a sua fixação pode ser efetuada por colagem ou recorrendo a estruturas de apoio.

5.1.1.2. Contra fachada pelo lado interior

A aplicação mais frequente deste tipo de solução consiste na utilização de placas de gesso cartonado. Com a sua utilização, simula-se o efeito de parede dupla, podendo ser aplicado na sua caixa-de-ar isolantes térmicos, por exemplo a lã mineral (lã de rocha). Embora esta solução implique a diminuição do espaço útil interior, contribui fortemente para o melhoramento do conforto térmico no interior do edifício.

5.1.2. Reabilitação com isolamento térmico pelo exterior

Tendo em vista apenas o melhoramento das condições térmicas, esta solução apresenta-se como sendo bem mais vantajosa em relação à reabilitação térmica pelo interior, uma vez que possibilita a eliminação de todas as pontes térmicas devido à sua aplicação contínua na fachada do edifício.

Esta solução, ao contrário da apresentada anteriormente, não diminui o espaço útil interior nem a inércia térmica e evita, ainda, o aparecimento de condensações.

A inércia térmica deve ser sempre encarada como muito importante, daí, quanto maior for a inércia de um edifício, maior será o calor armazenado no interior dos elementos construtivos. Daqui conclui-se com facilidade que este fator permite “atrasar” o

sobreaquecimento durante a estação de Verão e contribui para o aumento da temperatura interior durante o Inverno.

5.2. Melhoria das Condições Térmicas de Pavimentos

Uma vez que a melhoria do comportamento térmico de um edifício não se consegue reabilitando apenas as paredes, existe também uma forte necessidade de intervenção ao nível dos pavimentos, uma vez que estes são igualmente responsáveis por perdas e ganhos de calor.

Os pavimentos térreos ou aqueles que se encontram sobre espaços não climatizados (garagens, zonas de comércio, ...) são os que apresentam maiores trocas de calor.

Fazendo uma analogia com o procedimento de reabilitação térmica das paredes, nos pavimentos, esta pode ser efetuada a partir do exterior, do interior, ou dentro de espaços vazios que possam existir dentro dos mesmos.

Sempre que se pretende reabilitar termicamente um pavimento pelo exterior é comum recorrer-se a sistemas compósitos de isolamento térmico com revestimentos sobre o isolamento térmico.

A reabilitação térmica pelo interior é fundamentada na aplicação do isolamento entre a estrutura de suporte do pavimento e o revestimento de piso.

Uma vez que a maioria dos pavimentos não possui vazios no seu interior, a aplicação de isolamento térmico no seu interior encontra-se bastante limitada, sendo, assim, uma solução pouco viável.

5.3. Reabilitação Térmica de Coberturas

Uma vez que as coberturas estão diretamente expostas à radiação solar, estas devem merecer uma especial atenção na reabilitação térmica de um edifício.

Assim sendo, no edifício em estudo, existe uma cobertura inclinada cujo desvão não é habitável, existindo a necessidade de intervenção com vista a proporcionar um melhor conforto térmico das zonas subjacentes.

Uma vez que a problemática do espaço útil do sótão está ultrapassada, visto este não ser utilizado, como referido anteriormente, existe a possibilidade de intervir ao nível da cobertura sob ou sobre a estrutura de suporte de madeira ou sobre o teto. Torna-se assim

mais prática a colocação do isolamento térmico pelo interior, pois evita qualquer intervenção ao nível das telhas e da estrutura de suporte.

No caso de se pretender intervir ao nível do exterior da cobertura, há necessidade de remover as telhas e colocar painéis de isolamento com uma camada de material impermeabilizante incorporado.

No caso deste espaço ser ventilado, é preferível que esta intervenção ocorra ao nível da esteira em vez da cobertura, poupando-se, assim, na utilização do material isolante.

5.4. Hipóteses de Reabilitação Térmica do Edifício em estudo

Apresentadas as possíveis soluções de reabilitação térmica do caso de estudo, resta apresentar a solução adotada.

Uma vez que das hipóteses supracitadas, existem algumas que se revelam incompatíveis com as características e utilização do edifício existente, é importante definir a solução adotada para cada elemento construtivo.

Assim sendo, uma vez que o objetivo desta dissertação passa por testar a operacionalidade e precisão dos sistemas de simulação dinâmica do comportamento térmico dos edifícios, propõe-se que seja encenada a situação mais favorável para a melhoria do comportamento térmico do edifício em estudo, já que pequenas alterações ao nível da reabilitação térmica devolverão pequenas alterações ao nível dos resultados obtidos através da ferramenta informática *Design Builder*.

Posto isto, apresenta-se de seguida a solução adotada para a reabilitação do caso de estudo:

- Aplicação de isolamento térmico no interior das paredes exteriores, executado com gesso cartonado e lã de rocha na caixa-de-ar;

Como é visível na Figura 5.1, a execução das paredes exteriores após a reabilitação térmica do edifício apresentará um reboco de 15mm de argamassa na face exterior, os já existentes 400mm de blocos de adobe, reboco interior de 15mm de argamassa, lã de rocha na caixa-de-ar com uma espessura de 30mm e placas de gesso cartonado com 13mm de espessura.

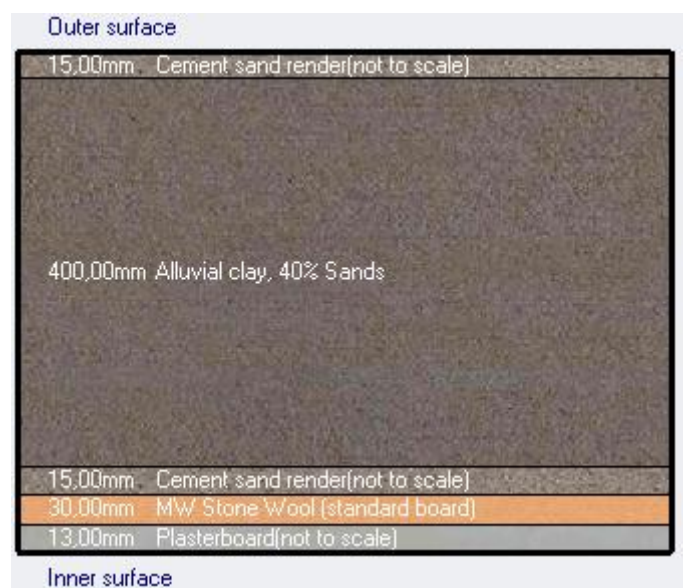


Figura 5.1 - Corte da parede exterior após reabilitação térmica

- Aplicação de isolamento térmico no interior da cobertura, executado junto à laje de esteira.

Desta forma, a nova cobertura apresentar-se-á com uma camada de 30mm de poliestireno expandido sobre a laje de esteira, diminuindo substancialmente as perdas de calor pela cobertura.

- Aplicação de vidro duplo nas janelas do edifício.

Os envidraçados apresentar-se-ão em vidro duplo de 6mm com uma caixa-de-ar de 13mm. Esta solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica na ordem dos $2,665\text{W/m}^2\text{K}$, o que representa uma grande melhoria do ponto de vista térmico, uma vez que o envidraçado que atualmente compõe a envolvente do edifício apresenta o coeficiente de $5,778\text{W/m}^2\text{K}$, sendo constituído apenas por um vidro simples de 6mm.

Esta solução minimiza as perdas e ganhos de energia pelos envidraçados e diminui a permeabilidade.

- Aplicação de isolamento térmico no piso térreo.

Sobre o piso térreo serão aplicados 30mm de poliestireno extrudido. Esta solução diminui também as perdas e ganhos de energia pelo pavimento e diminui significativamente as pontes térmicas lineares.

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO APÓS REABILITAÇÃO TÉRMICA

- 6.1. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder
- 6.2. Apresentação das necessidades energéticas do edifício após reabilitação térmica
- 6.3. Índice de conforto térmico de *Fanger*

6. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO APÓS REABILITAÇÃO TÉRMICA

Após ter sido comprovada a precisão e análise realista feita por parte do programa *Design Builder*, é importante nesta fase, analisar o comportamento térmico do edifício em estudo, após aplicadas as medidas de melhoria para o conforto térmico do mesmo.

6.1. Análise dos resultados da simulação com o Design Builder

Nesta fase são apresentados os resultados da simulação dinâmica para todo o edifício considerando a reabilitação proposta no capítulo anterior. Esta análise foi efetuada para um período de um ano, com base nas mesmas condições exteriores que a análise feita para o edifício antes da reabilitação térmica.

6.1.1. Ano inteiro (01 de Janeiro a 31 de Dezembro)

Da mesma forma que antes da reabilitação térmica do edifício, verifica-se que a temperatura interior é superior à temperatura exterior durante todo o ano (Figura 6.1). Esta variou entre os 18,74°C e os 28,87°C, enquanto que a exterior oscilou entre os 3,78°C e os 29,27°C. Desta forma, a temperatura média interior é 7,96°C superior à temperatura média exterior.

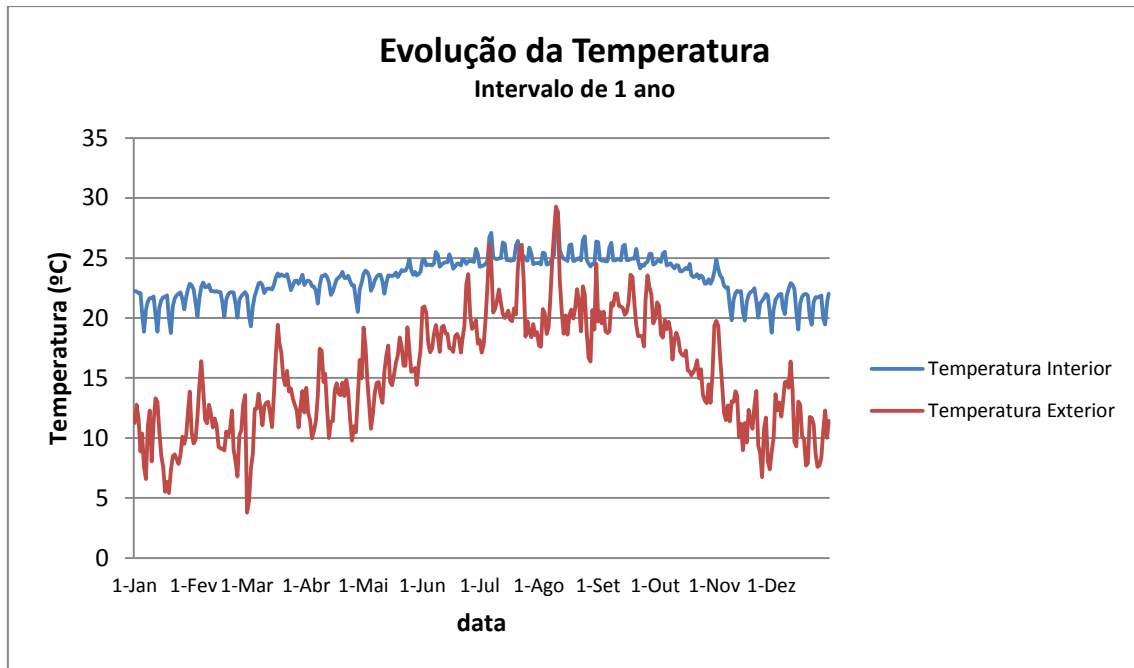


Figura 6.1 - Evolução anual da temperatura interior e exterior

Quando à humidade relativa no interior do edifício, após aplicadas as medidas de melhoria do comportamento térmico, esta variou entre os 19,15% e os 61,99%, encontrando-se a sua média fixada nos 47,16% (Figura 6.2).

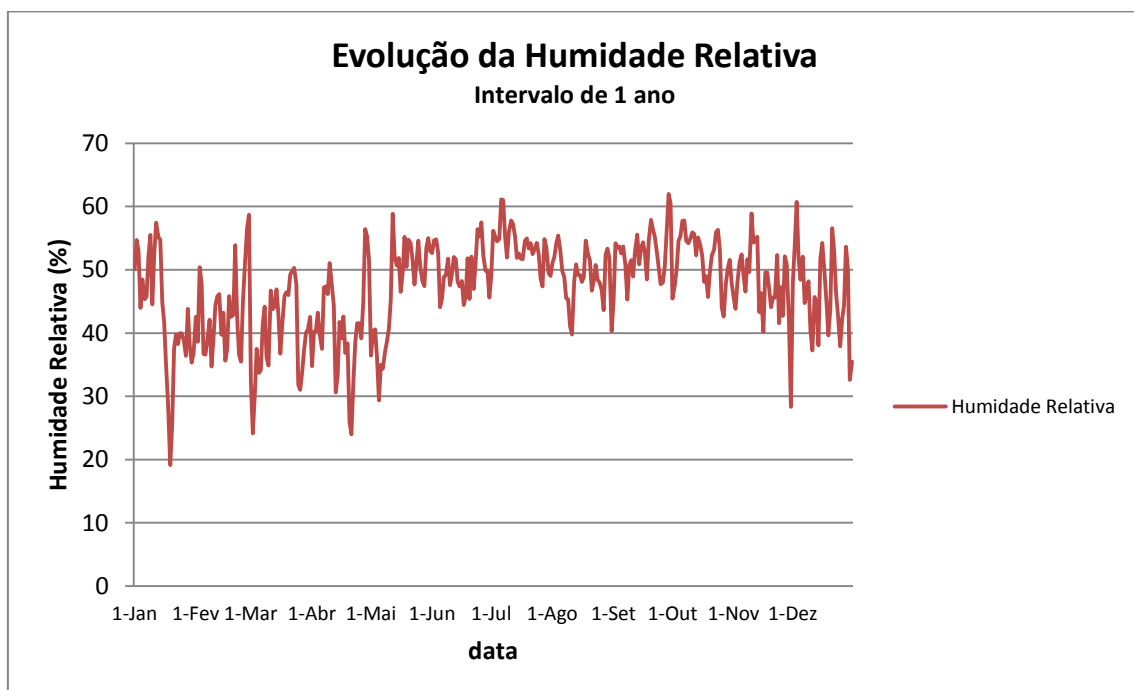


Figura 6.2 - Evolução anual da Humidade Relativa

6.1.2. Dia mais frio (20 de Janeiro)

Analogamente à observação relativa ao ano inteiro, no caso do dia mais frio, que ocorreu a 20 de Janeiro, pode constatar-se que a temperatura no interior do edifício se encontra também sempre acima da temperatura exterior (Figura 6.3). Esta oscilou entre os 14,90°C e os 17,93°C, enquanto que a temperatura exterior variou entre os 3°C e os 12,8°C. Desta forma, as temperaturas médias interiores e exteriores distanciaram-se de 9,13°C.

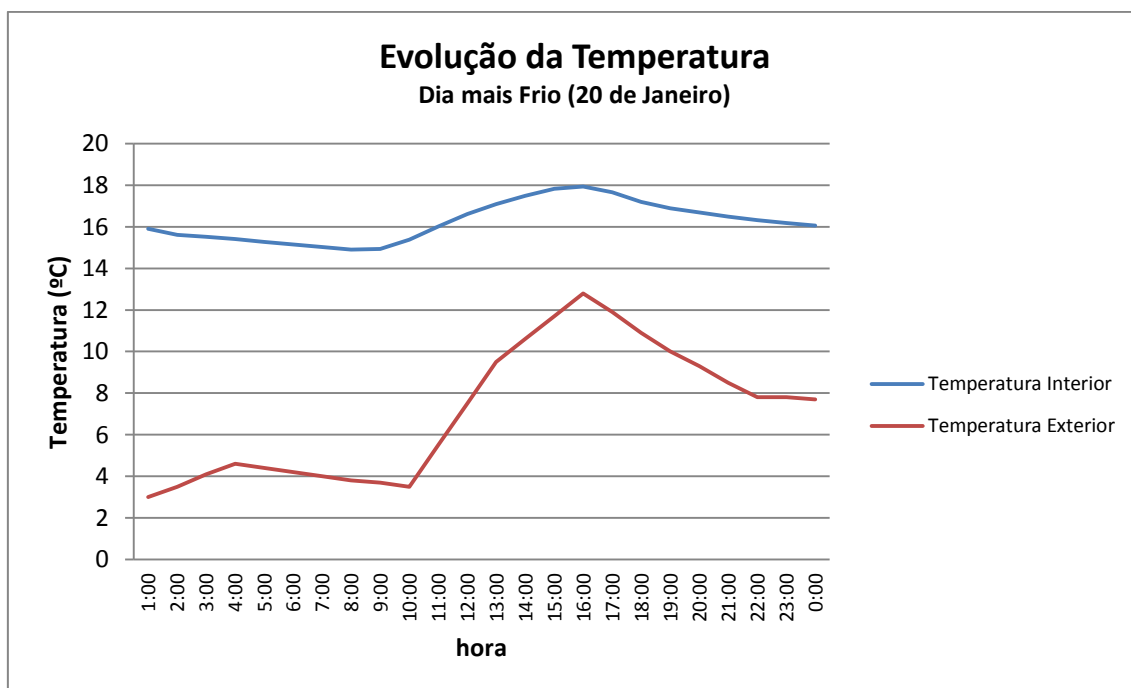


Figura 6.3 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais frio (20 de Janeiro)

Para este dia, observou-se uma variação da humidade relativa entre os 24,27% e os 34,86%, fixando a sua média nos 30,82% (Figura 6.4).

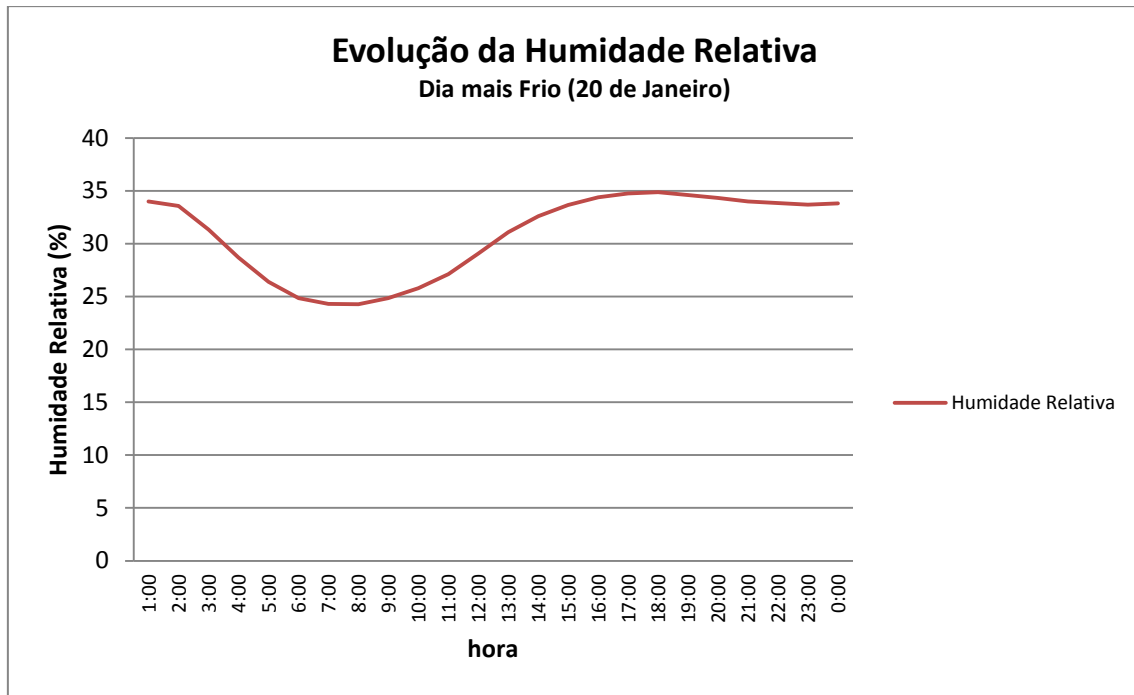


Figura 6.4 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais frio (20 de Janeiro)

6.1.3. Dia mais quente (11 de Agosto)

Da análise do gráfico da Figura 6.5, pode concluir-se que entre as 11 horas e as 19 horas, a temperatura no interior do edifício se encontra abaixo da temperatura no exterior do mesmo, tal como antes da reabilitação.

A temperatura interior variou entre os 29,57°C e os 32,46°C, enquanto que a temperatura exterior variou entre os 21,8°C e os 36,7°C. Os valores da temperatura média interior e exterior diferiram de 2,11°C.

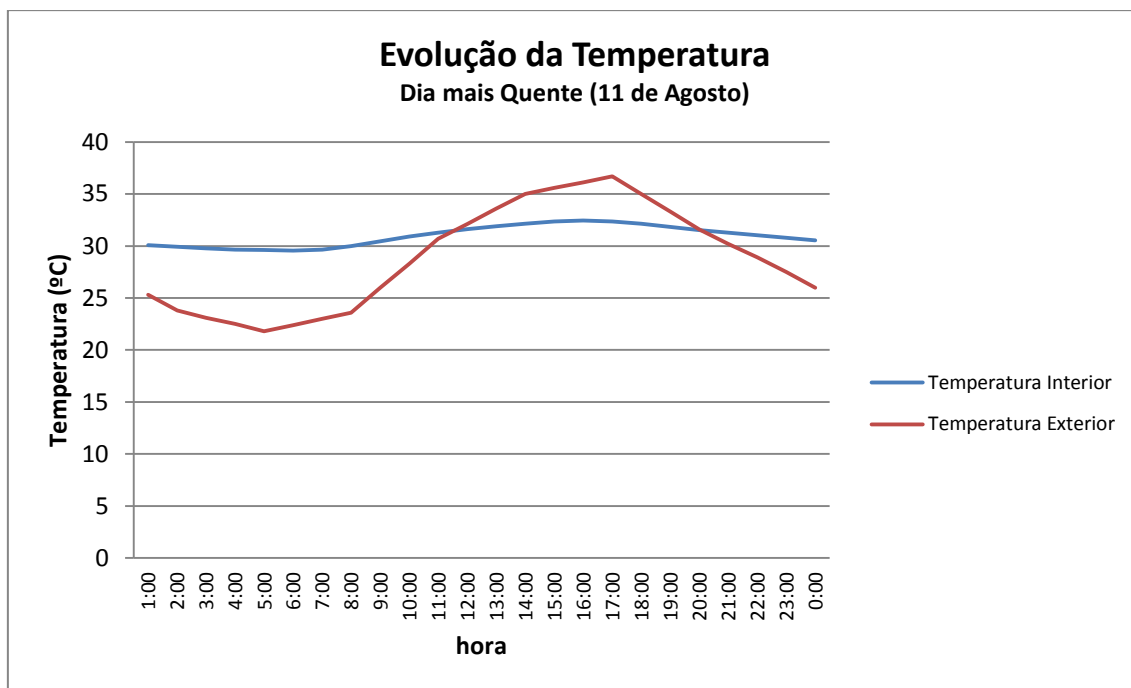


Figura 6.5 - Evolução da temperatura interior e exterior para o dia mais quente (11 de Agosto)

Para o dia mais quente do ano, a humidade relativa apresentou valores mínimos e máximos de 31,66% e 38,28%, respetivamente, fixando a sua média no valor de 35,17% (Figura 6.6).

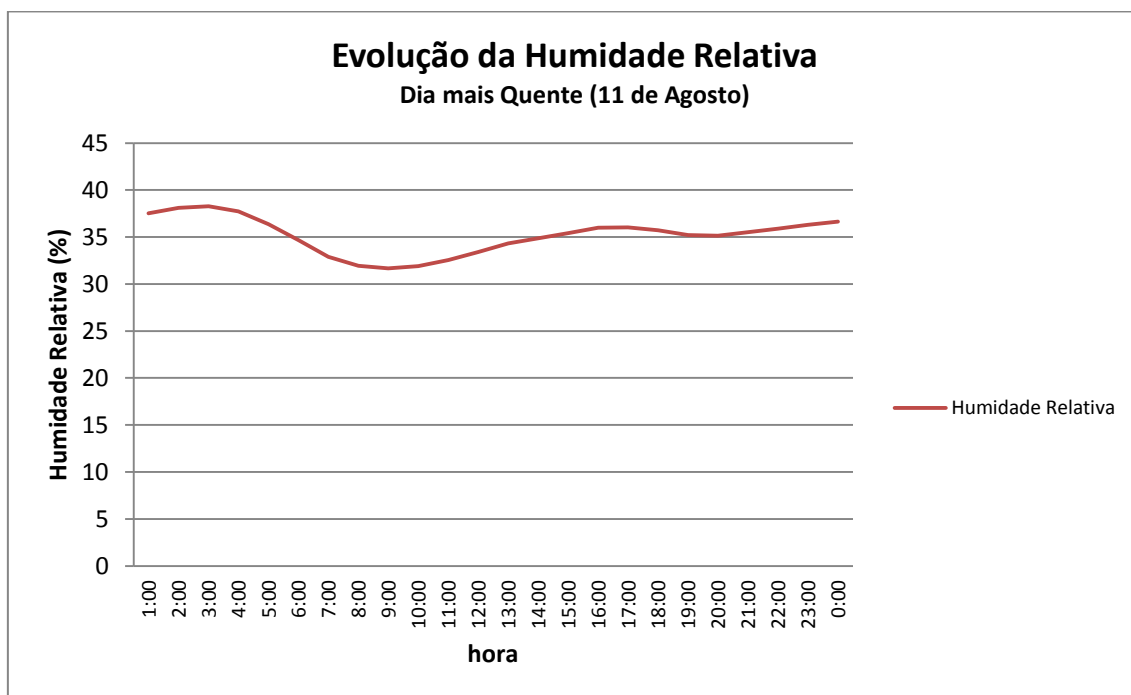


Figura 6.6 - Evolução da Humidade Relativa para o dia mais quente (11 de Agosto)

6.2. Apresentação das necessidades energéticas do edifício após reabilitação térmica

Tendo sido feita a análise dinâmica do comportamento térmico do edifício atendendo às novas condições apresentadas, consequência da reabilitação térmica proposta, é agora altura de se apresentarem as suas necessidades energéticas durante o ano, onde é observável o comportamento do edifício para as duas estações, de aquecimento e de arrefecimento.

Analisando o gráfico da Figura 6.7, pode verificar-se que as necessidades de aquecimento, a vermelho, atingem o seu ponto máximo para o dia 20 de Janeiro, onde o seu valor é fixado nos 164,27kWh. Este é efetivamente o dia em que haverá maior necessidade de aquecimento no interior do edifício.

Contrariamente a este valor, a necessidade máxima de arrefecimento, foi atingida para o dia 11 de Agosto, igual a 330,395kWh.

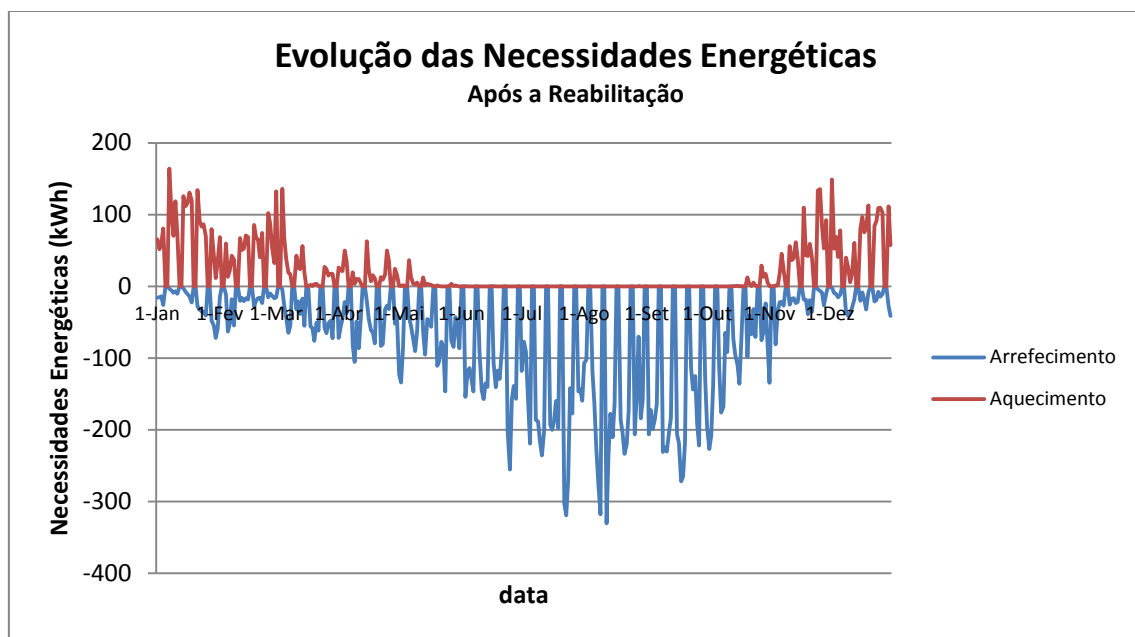


Figura 6.7 - Necessidades Energéticas após a reabilitação térmica

6.3. Índice de Conforto Térmico de Fanger

A Figura 6.8 apresenta a evolução do índice de conforto de *Fanger* na Casa de Chá, durante o período de um ano, calculado pelo *Design Builder* para as condições dadas após a reabilitação térmica.

Da sua análise pode observar-se que este índice varia entre o valor mínimo de -1,90 e máximo de 0,96, fixando a sua média no valor de -0,30.

Analisando estes dados poderia facilmente concluir-se que se tratava de um ambiente “Neutro” durante todo o ano. No entanto, é necessário estudar a evolução deste índice no dia mais frio do ano e no dia mais quente do ano, de forma a caracterizar corretamente o seu ambiente.

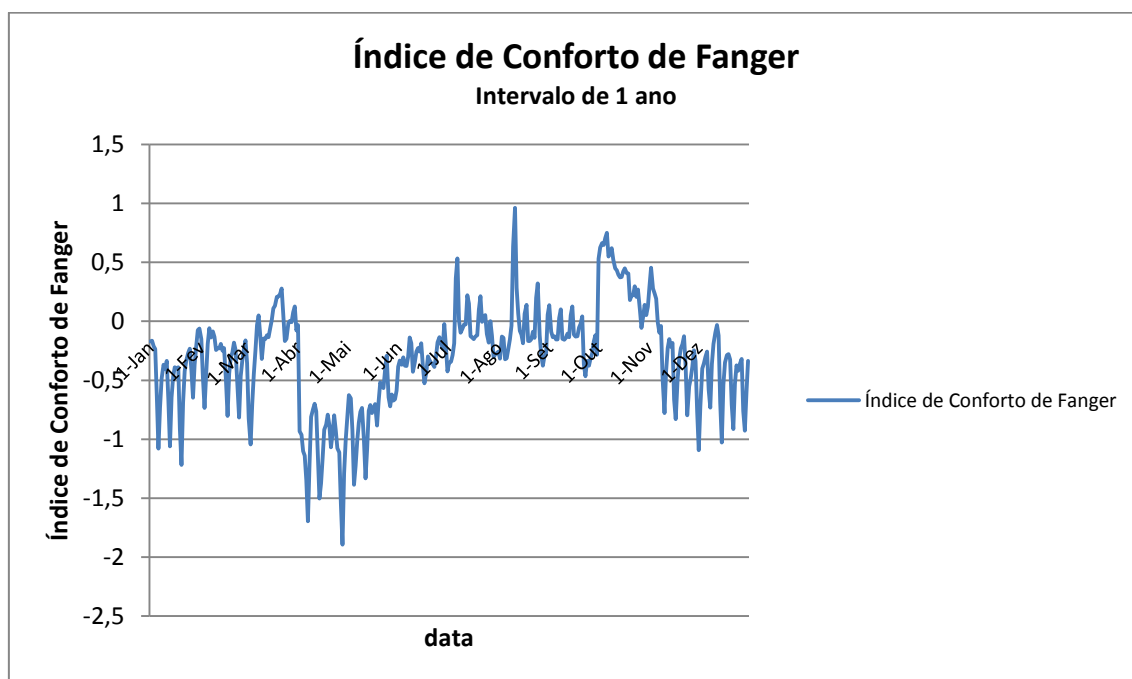


Figura 6.8 - Evolução do Índice de Conforto de Fanger

Assim sendo, apresenta-se na Figura 6.9 a evolução do índice de conforto para o dia mais frio.

Neste dia, os valores do índice de conforto térmico oscilaram entre -2,19 e -1,45, fixando a sua média no valor de -1,86.

Com base na Figura 4.20, pode concluir-se que no dia mais frio do intervalo selecionado (1 ano), o ambiente interior na Casa de Chá é “Frio”.

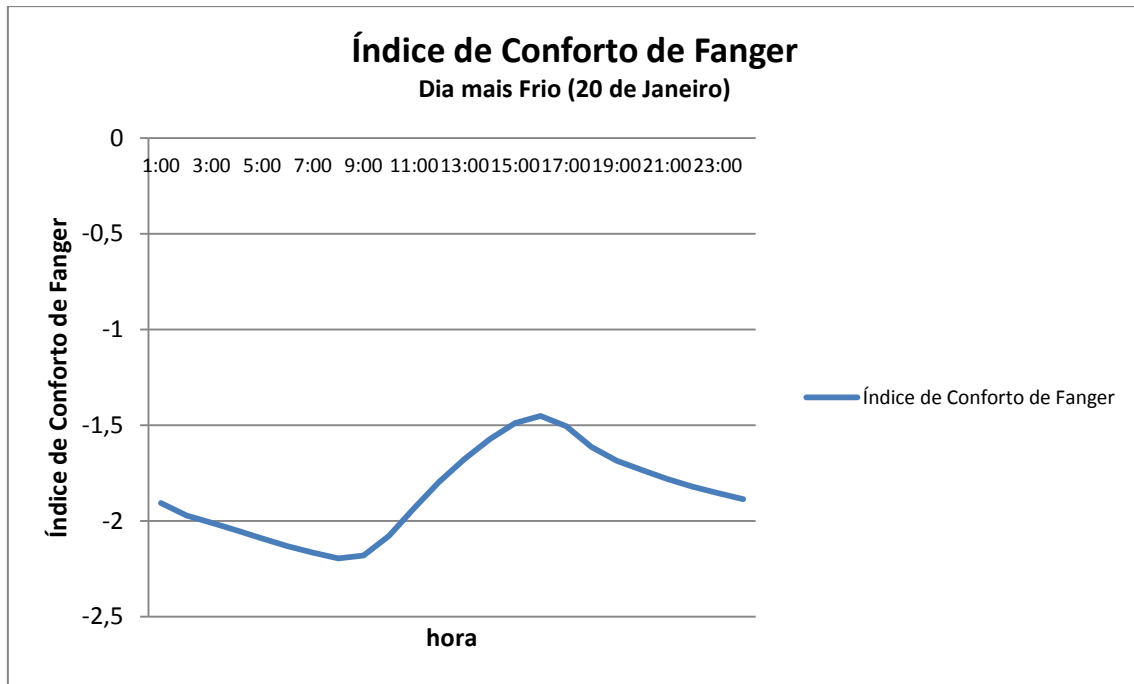


Figura 6.9 - Evolução do índice de conforto de *Fanger* para o dia mais frio (20 de Janeiro)

No dia mais quente do ano, os valores do índice de conforto variaram entre 1,25 e 2,19, fixando o valor médio de 1,71 (Figura 6.10). Destes resultados pode afirmar-se que no dia mais quente do ano, a Casa de Chá apresenta um ambiente “Quente”.

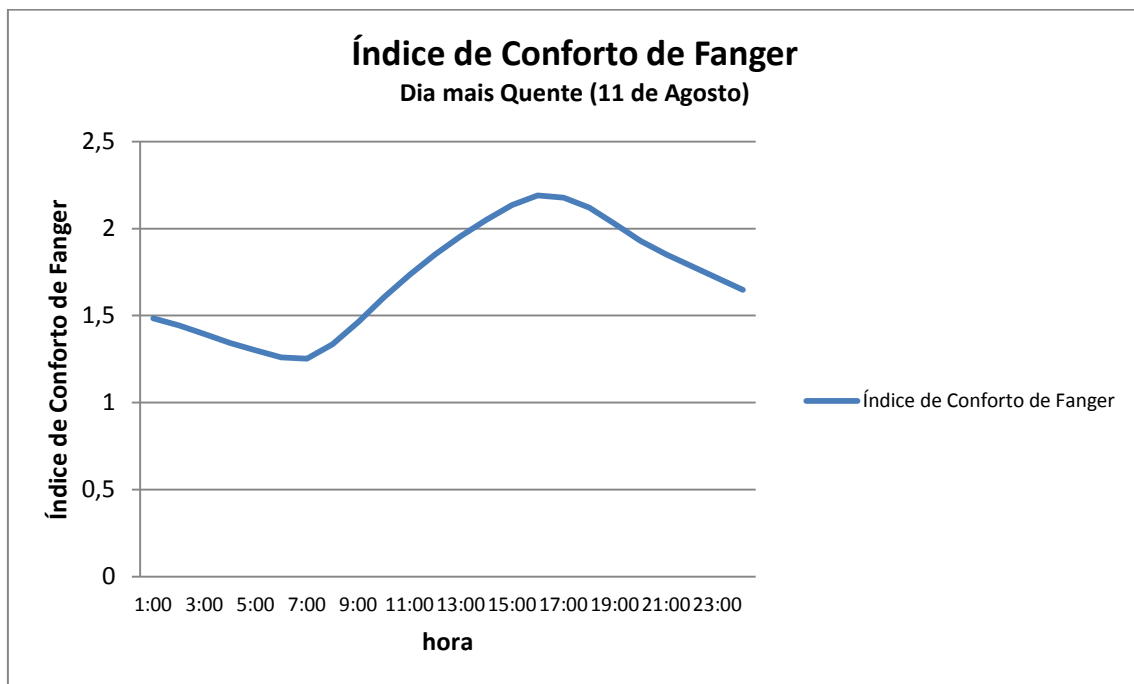


Figura 6.10 - Evolução do índice de conforto de *Fanger* para o dia mais quente (11 de Agosto)

Assim sendo, o caso de estudo apresenta um ambiente “Frio” no dia mais frio do ano e um ambiente “Quente” no dia mais quente do ano.

No capítulo seguinte apresentar-se-á o confronto entre os resultados obtidos antes e após a reabilitação térmica.

CAPÍTULO 7 - CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO ANTES E APÓS A REABILITAÇÃO TÉRMICA

7.1. Temperatura interior

7.2. Humidade relativa interior

7.3. Necessidades energéticas

7.4. Índice de conforto de Fanger

7. CONFRONTO ENTRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO ANTES E APÓS A REABILITAÇÃO TÉRMICA

Após a realização da análise dinâmica com o *Design Builder* antes e após a reabilitação térmica proposta, apresenta-se o confronto dos resultados obtidos nas duas fases, antes e após a reabilitação térmica.

7.1. Temperatura Interior

Antes da reabilitação térmica, o *Design Builder* calculou para a temperatura média interior um valor igual 21,90°C. Após a reabilitação térmica, o mesmo programa calculou o valor de 23,31°C (Figura 7.1). Este aumento de 1,41°C deve-se fundamentalmente ao facto de a reabilitação térmica ter minimizado as perdas de calor pela envolvente.

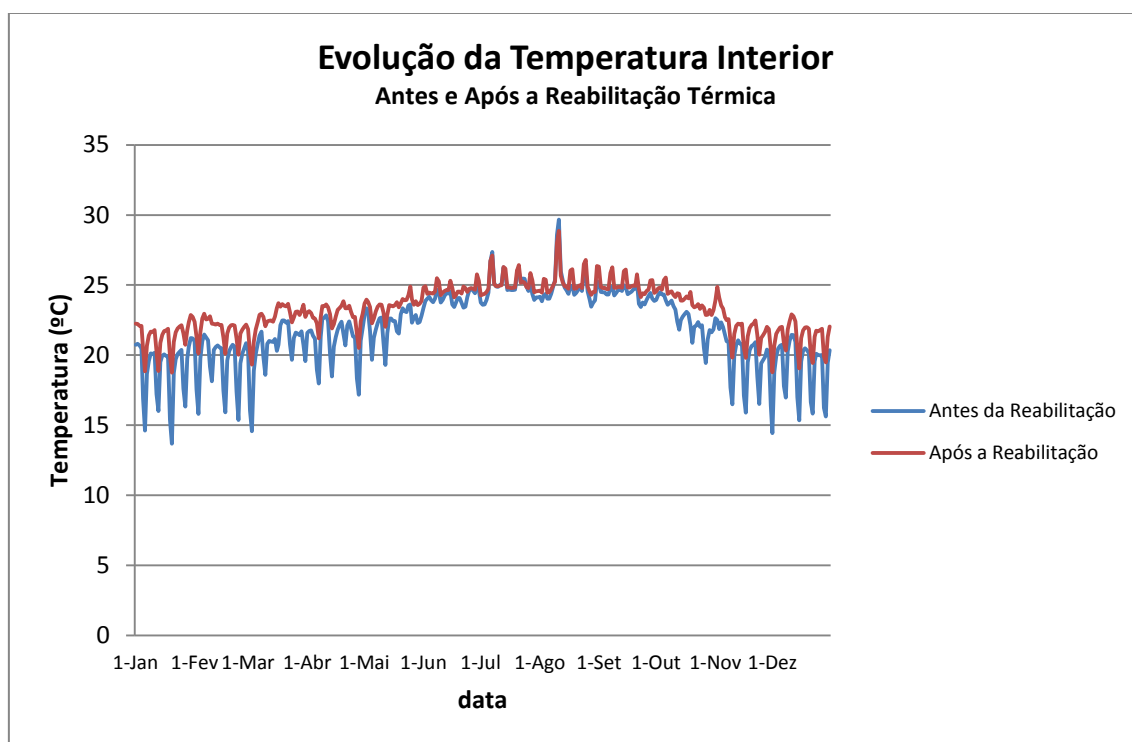


Figura 7.1 - Evolução da Temperatura Interior antes e após a reabilitação térmica

7.2. Humidade Relativa Interior

No que diz respeito à humidade relativa, o programa calculou os valores antes e após a reabilitação, 52,29% e 47,16%, respetivamente. Esta diminuição da humidade relativa no interior da casa deve-se principalmente à diminuição da permeabilidade existente nos vãos.

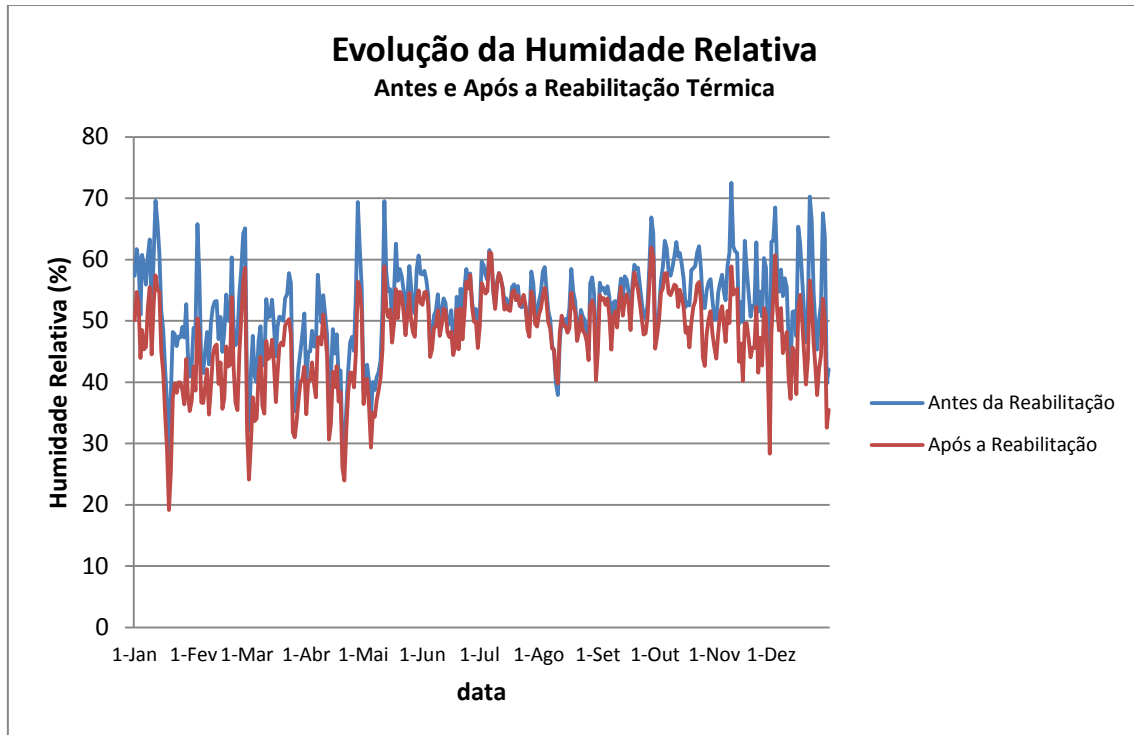


Figura 7.2 - Evolução da Humidade Relativa antes e após a reabilitação térmica

7.3. Necessidades Energéticas

7.3.1. Estação de Aquecimento (Inverno)

Da análise do gráfico da Figura 7.3, pode concluir-se que as medidas de reabilitação térmica implementadas surtiram um efeito favorável do ponto de vista do conforto térmico e consequentemente do ponto de vista económico.

Esta afirmação é facilmente justificável pela constatação da diminuição das suas necessidades energéticas para a estação de aquecimento. Uma vez que estas são bastante inferiores às necessidades energéticas anteriores à reabilitação, será necessário um recurso muito inferior a equipamentos de aquecimento visto que a reabilitação permitiu que fosse aproveitada uma maior quantidade da energia produzida pela utilização do

próprio edifício, na medida em que reduziu significativamente as perdas de calor pela envolvente.

Para a estação de Inverno verificou-se que antes da reabilitação existia uma necessidade energética máxima de aquecimento igual a 353,82kWh, valor que foi reduzido para menos de metade, 164,27kWh, com a aplicação das medidas de melhoria do comportamento térmico. Quer isto dizer que serão necessários cerca de metade dos recursos alternativos de aquecimento de modo a atingir o conforto térmico pretendido, o que se revela bastante vantajoso do ponto de vista económico.

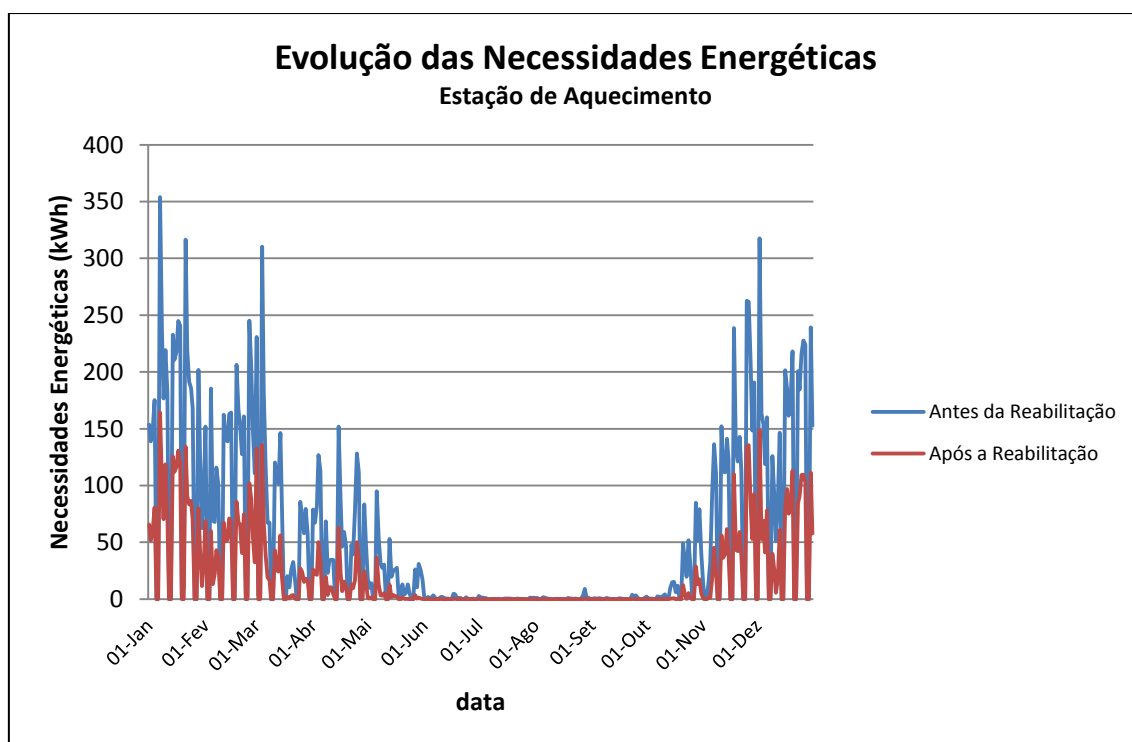


Figura 7.3 - Necessidades Energéticas antes e após a Reabilitação Térmica

7.3.2. Estação de Arrefecimento (Verão)

Relativamente à estação de arrefecimento, pode verificar-se que as alterações no comportamento térmico do edifício não foram tão significativas como na estação de aquecimento. Uma vez que a reabilitação térmica se baseou na diminuição da inércia térmica das paredes, da cobertura e na melhoria do comportamento térmico dos envidraçados, o arrefecimento não é influenciado de forma tão significativa, como seria de esperar.

Apesar dessa constatação, podem igualmente verificar-se quebras nas necessidades energéticas de arrefecimento, nomeadamente nos dias de mais calor, como é observável na Figura 7.2. Assim sendo, será necessário recorrer a menos recursos alternativos para arrefecimento das zonas do edifício pretendidas.

Antes da reabilitação, o edifício apresentou uma necessidade energética máxima de arrefecimento igual a 389,07kWh, enquanto que após a intervenção este valor baixou para os 330,395kWh.

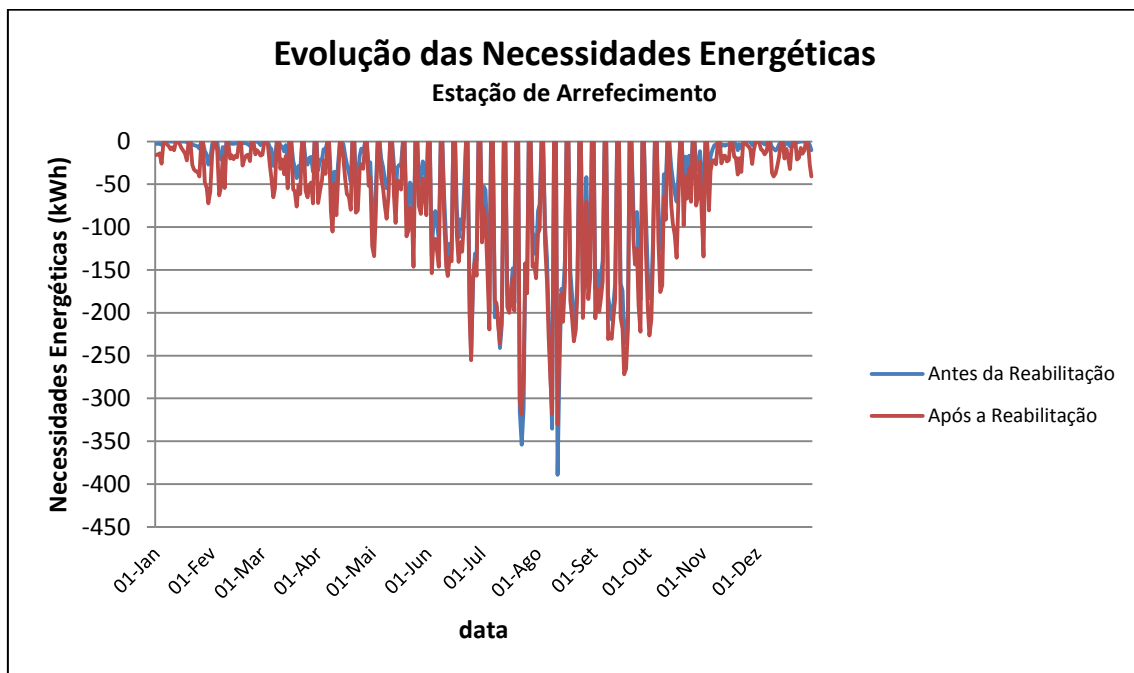


Figura 7.4 - Necessidades Energéticas antes e após a Reabilitação Térmica

7.4. Índice de Conforto de *Fanger*

Relativamente ao índice de conforto de *Fanger* pode observar-se da leitura direta da Figura 7.5 que houve de facto uma aproximação do eixo das abcissas, ou seja, do valor 0 para este índice.

Como referido anteriormente, o índice 0 representa a situação ideal de conforto térmico uma vez que retrata um ambiente “Neutro” segundo *Fanger*.

Deste modo, pode observar-se que antes da reabilitação térmica, este índice apresentava um valor igual a 0,78. Após a reabilitação térmica, este valor foi reduzido para -0,30, tornando-se, assim, num ambiente “Neutro” desejado.

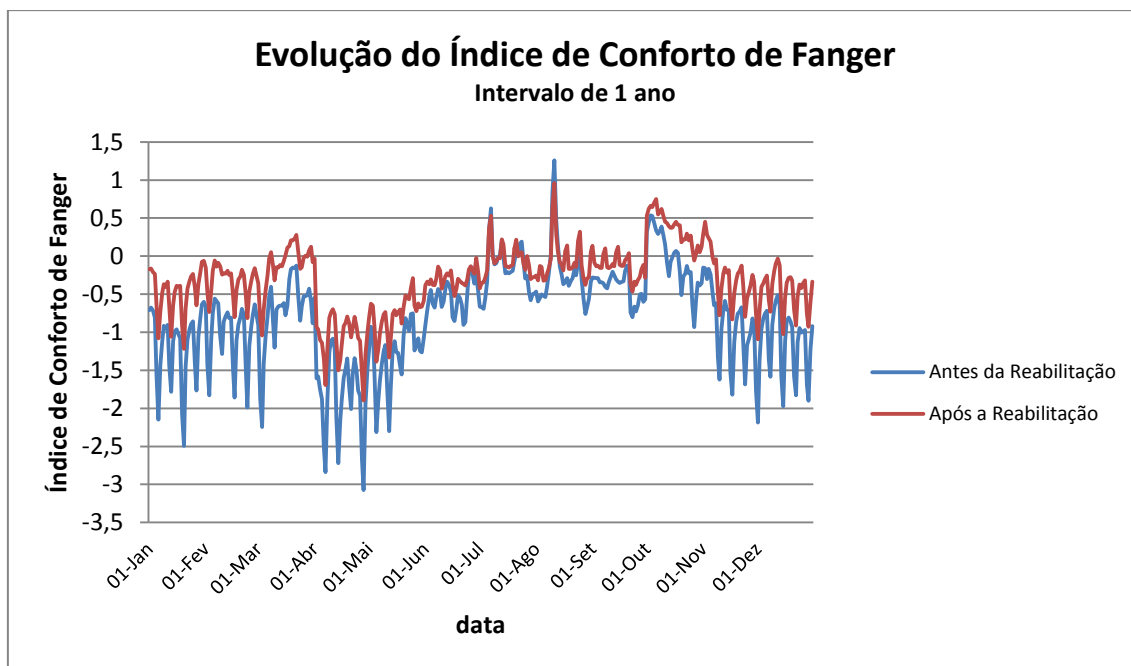


Figura 7.5 - Índice de Conforto de Fanger antes e após a Reabilitação Térmica

No dia mais frio do ano, 20 de Janeiro, verificou-se que as medidas de melhoria térmica desempenharam um papel muito importante no aspeto do conforto térmico. Desta forma, como representado na Figura 7.6, o valor médio do índice de conforto apresentado antes da reabilitação, igual a -2,72, foi aumentado para o valor de -1,86 encontrando-se num nível superior de conforto térmico. Estas medidas transformaram um ambiente “Muito Frio” num ambiente “Frio” no dia de menor temperatura do ano.

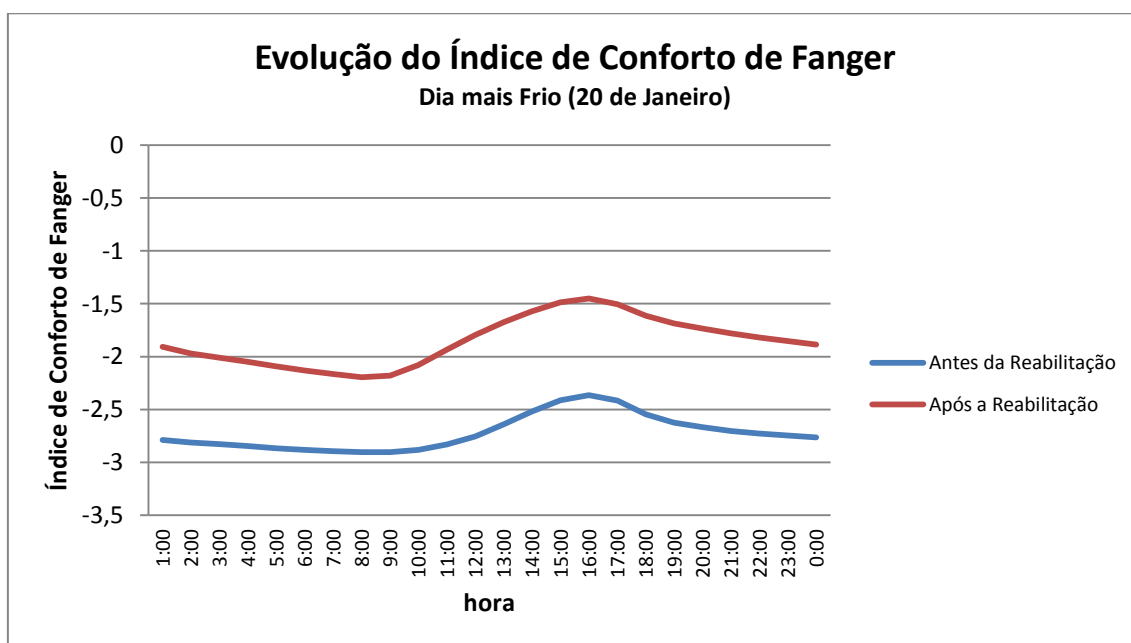


Figura 7.6 - Índice de Conforto de Fanger antes e após a Reabilitação Térmica (dia mais Frio)

No dia mais quente do ano, 11 de Agosto, as medidas de melhoria do comportamento térmico não ficaram tão evidenciadas. No entanto, normalizaram a curva representativa do índice de conforto térmico (Figura 7.7). Deste modo, se antes da reabilitação térmica havia um período durante a tarde em que seria bastante desconfortável ocupar esta casa, após a reabilitação térmica, essa prática é um pouco mais suportável, uma vez que, de forma pouco significativa, houve uma diminuição do índice de conforto, logo, um aumento do conforto térmico.

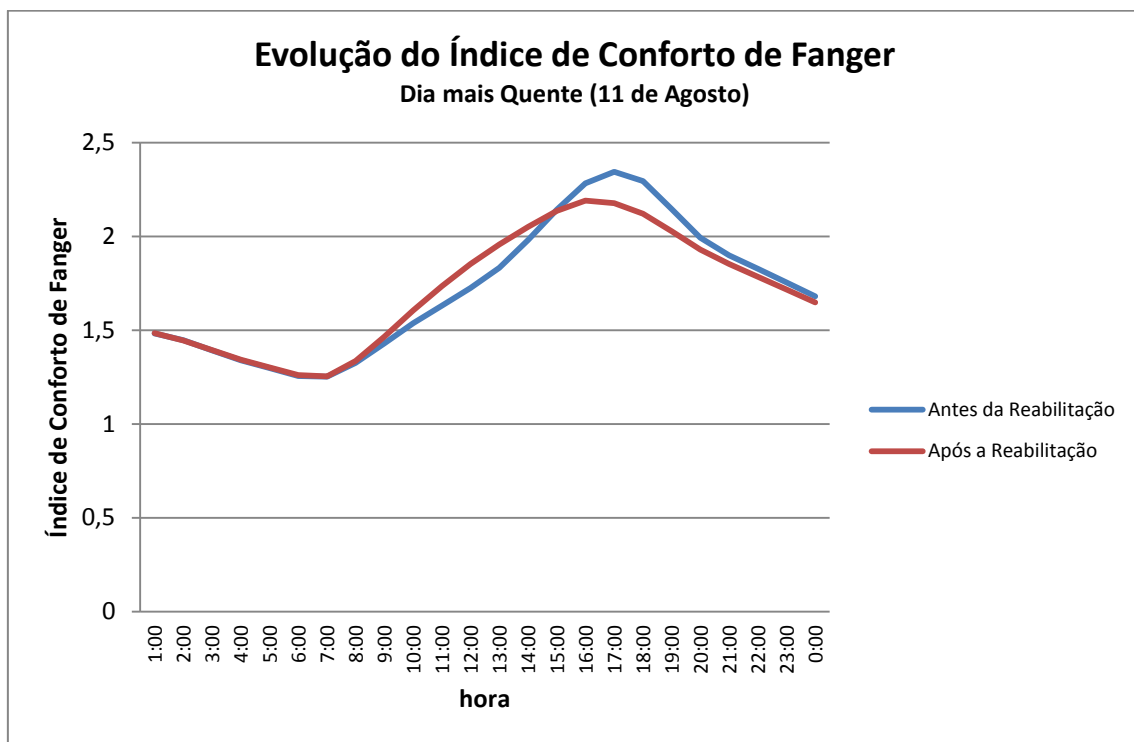


Figura 7.7 - Índice de Conforto de Fanger antes e após a Reabilitação Térmica (dia mais Quente)

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

8.1. Conceção do trabalho

8.2. Caso de estudo

8.3. Possíveis melhorias do trabalho realizado

8.4. Estudos próximos

8. CONCLUSÕES

Após a realização de todas as simulações e análises de resultados, apresentam-se as conclusões alcançadas, tendo em conta os objetivos a que a dissertação se propunha.

Assim sendo, como referido inicialmente, pretendia-se estudar o comportamento térmico do caso de estudo, antes e após a intervenção do ponto de vista da reabilitação térmica, recorrendo a uma ferramenta informática de análise dinâmica.

8.1. Conceção do trabalho

Por forma a cumprir com os objetivos propostos, iniciou-se o trabalho pela verificação da viabilidade de utilização do *software Design Builder*, de modo a comprovar que a sua análise era feita de uma forma precisa e aproximada do comportamento real do edifício em estudo.

Sendo o caso de estudo um edifício antigo existente no Parque Infante D. Pedro, no centro da cidade de Aveiro, denominado como Casa de Chá, principiou-se o estudo do seu comportamento térmico pela instalação de um termo higrógrafo, de modo a registar os valores da temperatura e humidade relativa, no interior do mesmo edifício, durante um determinado intervalo de tempo.

Este estudo foi realizado apenas para uma zona do edifício, uma vez que tem como único objetivo fazer uma comparação entre os valores registados e os utilizados na simulação com o *Design Builder*.

Após a confirmação da viabilidade de utilização do programa, correu-se a simulação para o período de um ano atendendo às condições atuais do edifício e, de seguida, nova simulação, considerando algumas medidas de melhoria do comportamento térmico.

8.2. Caso de Estudo

Com o termo higrógrafo, registaram-se durante o período entre 07 de Abril e 20 de Maio, os valores da temperatura e da humidade relativa na sala de ensaio da Casa de Chá.

A temperatura oscilou entre os 14,19°C e os 29,06°C encontrando-se a média das temperaturas nos 19,51°C.

Quanto à Humidade Relativa, esta variou entre os 21% e os 66,38%, encontrando-se a média nos 52,36%.

De seguida modelou-se o edifício no programa *Design Builder* e posteriormente calibrou-se o modelo, tendo definido inicialmente uma tolerância de erro de 10% para os valores da temperatura.

Foram inseridos no programa os dados relativos à temperatura exterior e humidade relativa exterior fornecidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro, para o mesmo período em que tinha sido feito o registo com o termo higrógrafo.

Atingida a tolerância de 9,92%, considerou-se o modelo calibrado e procedeu-se à simulação do comportamento térmico do edifício para um ano inteiro, atendendo às suas características atuais.

Registados estes resultados, inseriram-se no programa algumas medidas de melhoria do comportamento térmico da envolvente do edifício. Destas medidas fizeram parte a aplicação de vidro duplo nos envidraçados exteriores, a aplicação de lã de rocha e gesso cartonado no interior das paredes exteriores e a aplicação de isolamento térmico na laje de esteira da cobertura e no pavimento do piso térreo.

Após registados os resultados desta simulação foram avaliados os seus efeitos, de forma a afirmar-se, ou não, que se tinha atingido um nível de conforto térmico superior.

Na Figura 8.1 apresentam-se os valores do índice de conforto térmico de *Fanger* antes e após a reabilitação térmica, para o ano todo, o dia mais frio e o dia mais quente.

Assim sendo, pode de facto concluir-se que as medidas de melhoria do comportamento térmico influenciaram de forma positiva o conforto térmico do edifício, segundo *Fanger* [14], uma vez que para todo o intervalo, essas medidas transformaram um ambiente tendencialmente “Ligeiramente Frio” num ambiente “Neutro”.

	Antes da Reabilitação		Após a Reabilitação	
Intervalo de 1 ano	-0,78	"Ligeiramente Frio"	-0,30	"Neutro"
Dia mais Frio	-2,72	"Muito Frio"	-1,86	"Frio"
Dia mais Quente	+1,72	"Quente"	1,71	"Quente"

Figura 8.1 - Valores do Índice de Conforto de *Fanger* antes e após a Reabilitação Térmica

No caso da estação de aquecimento, Inverno, os efeitos produzidos pela reabilitação térmica são notáveis e bastante significativos, uma vez que reduzem para cerca de metade os consumos necessários para aquecimento das mesmas zonas.

No entanto, na estação de arrefecimento, Verão, esses efeitos não foram tão significativos, uma vez que a reabilitação se baseia no aumento da inércia térmica da envolvente do edifício, o que diminui substancialmente a quantidade de perdas por este meio.

Apesar de nesta última estação, as diferenças não serem tão significativas como para a estação de Inverno, pode concluir-se de igual forma que o comportamento térmico do edifício foi melhorado, uma vez que nos dias de maior calor, as necessidades de arrefecimento também foram melhoradas, ou seja, reduzidas.

8.3. Possíveis melhorias do trabalho realizado

Após a conclusão deste trabalho é necessário refletir acerca dos procedimentos adotados e da representatividade dos resultados obtidos.

Assim sendo, existiram alguns aspetos que poderiam, de facto, ser aperfeiçoados.

Como citado no Capítulo 4 deste trabalho, os valores da temperatura exterior e da humidade relativa exterior foram cedidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Estes dados são registados na sua estação meteorológica, situada no Campus da Universidade de Aveiro.

Deste modo, utilizarem-se esses valores como valores padrão para as condições exteriores do caso de estudo o que não é de todo correto. Se os valores da temperatura são bastante aproximados dos reais, já os valores da humidade relativa não o evidenciam. Deve-se este facto, à grande influência da vegetação que envolve a Casa de Chá, assim como à existência do lago no Parque Infante D. Pedro, onde a casa se situa.

Uma forma de melhorar o estudo realizado seria instrumentar também o exterior da casa de modo a registar os valores da temperatura e humidade exteriores. Desta forma, atingir-se-iam, de certeza, resultados mais fiáveis.

Um outro aspeto que poderá ser otimizado é diretamente relacionado com o período de instrumentação da Casa de Chá. Desta forma, registando os mesmos dados no interior e

no exterior da casa, durante um período igual ou superior a um ano, garantir-se-ia a calibração exata do modelo.

8.4. Estudos futuros

Atendendo às subidas drásticas do preço da energia e às evoluções climáticas, cada vez mais hostis, um dos setores em que mais sentido faz discutir medidas de mitigação desses efeitos, é necessariamente o setor da construção. Desta forma, a reabilitação térmica desempenha um papel fundamental para a melhoria do comportamento térmico dos edifícios, originando menores gastos de energia e majorando o nível de conforto dos edifícios.

Com o recurso a cada vez mais equipamentos de climatização, os edifícios tornaram-se, nos últimos anos, os maiores consumidores de energia elétrica do país e, por esse motivo, recai sobre eles a necessidade e o desafio para o aumento da eficiência energética.

É, deste modo, necessário encontrar soluções que possam ser aplicadas em obras submetidas a peritagem com vista à aquisição de certificação energética.

No presente trabalho, apresentou-se uma proposta de reabilitação térmica de um edifício em adobe. Numa fase inicial do estado de arte constatou-se que há ainda muito a descobrir relativamente a soluções de reabilitação deste tipo de construções.

Deste modo, propõe-se que sejam estudadas medidas de melhoria do comportamento térmico para construções em adobe.

Uma última expectativa quanto à continuidade deste trabalho é relativa à facilidade de utilização das ferramentas de análise dinâmica. Uma vez que o tema da térmica surge em todos os cursos superiores de Engenharia Civil, seria interessante que todos os futuros engenheiros pudessem interagir com ferramentas do género do Design Builder e que a modelação de edifícios, sempre que se pretende estudar o seu comportamento térmico, fosse prática regular e obrigatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BUECHE, Frederick J., Física Geral, McGraw-Hill, São Paulo, 1983.
- [2] ÍNDIAS, Maria Amélia, Curso de Física, McGraw-Hill, Portugal, 1992.
- [3] ENERGY PLUS, Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to Energy Plus Input and Output, November, 2008.
- [4] PORTO EDITORA, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei N°80/2006, Lisboa, 2006.
- [5] DIAS, Diamantino, Revista AVEIRO, Câmara Municipal de Aveiro, 2ª Edição, Julho de 1997.
- [6] RODRIGUES, António Moret e outros, Térmica de Edifícios, Orion, Lisboa, 2009.
- [7] INE, Anuário Estatístico de Portugal, Lisboa, 2008.
- [8] APPLETON, João, Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção, Orion, 2003.
- [9] FARINHA, Manuel Brazão e outros, Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Uma publicação prática com soluções e estratégias de reabilitação e manutenção de edifícios, Verlag Dashofer, Lisboa, 2006.
- [10] FREITAS, Vasto Peixoto e vários, 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Comissão Organizadora do PATORREB 2009, Porto, 2009.
- [11] KELLY, R., Latent Heat Storage in Building Materials, AMEC Design.
- [12] HENRIQUES, F, A Conservação do Património Histórico Edificado (Memória N°775), LNEC, Lisboa, 1991.
- [13] GOUVEIA, Pedro Manuel, Dissertação de Mestrado – Caracterização dos Impactes da Envolvente no Desempenho Térmico dos Edifícios, IST, 2008.
- [14] FANGER, P.O. (1972), Thermal Confort Analysis and Applications environmental engineering, New York, McGraw-Hill, Book Company, 1972.

- [15]ISO 7730, Moderate Thermal Environmental Determination of the PMV and PPD indices for thermal confort. International Organization for standardization, Geneva, 1995.
- [16]LISBOA, Carlos, Conforto Térmico na habitação. Necessidades e Soluções, Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 2007.
- [17]LYRA, Débora Santa Fé Monteiro, Aplicabilidade dos Índices de Conforto Térmico: Um Estudo de caso em Salvador - BA, Dissertação do final do Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2007.
- [18]http://olhares.aeiou.pt/casa_do_cha_parque_municipal_de_aveiro_foto272670.html
- [19]<http://aveirana.doc.ua.pt/pidpedro.htm>
- [20]<http://www.acepe.pt/>

ANEXOS

ANEXO I – Plantas, Alçados e Cortes do Caso de Estudo